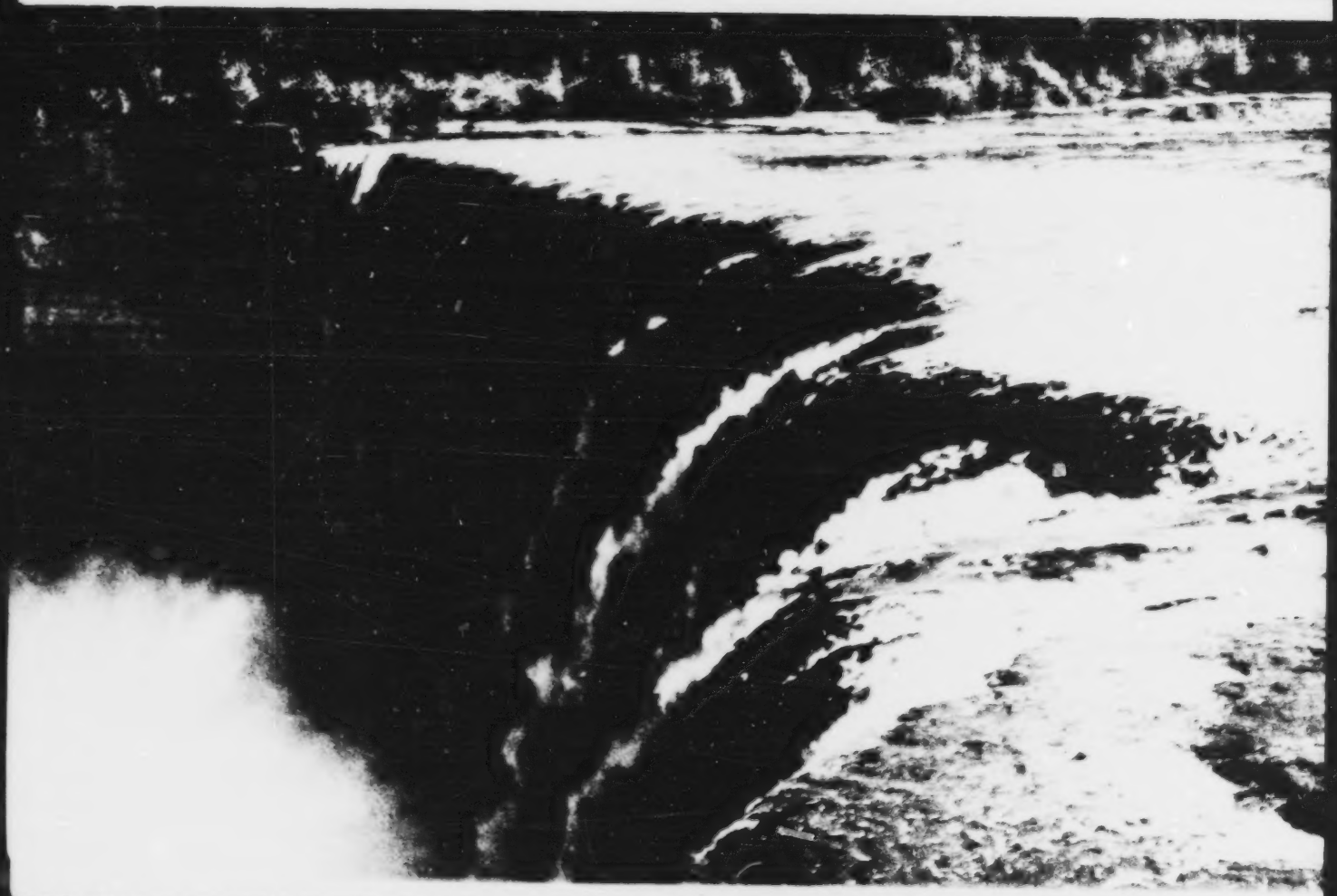
Toxic Contaminants in the Niagara River, 1975–1982

K.W. Kuntz



TECHNICAL BULLETIN NO. 134

85-4824/

Environment Canada Environnement Canada

Toxic Contaminants in the Niagara River, 1975–1982

K.W. Kuntz

TECHNICAL BULLETIN NO. 134

INLAND WATERS DIRECTORATE
ONTARIO REGION
WATER QUALITY BRANCH
BURLINGTON, ONTARIO, 1984

(Disponible en français sur demande)

© Minister of Supply and Services Canada 1984

Cat. No. En 36-503/134E

ISBN 0-662-13829-2

Contents

	Page
ABSTRACT	viii
RÉSUMÉ	viii
ACKNOWLEDGMENTS	ix
EXECUTIVE SUMMARY	x
1. INTRODUCTION	1
2. MEASUREMENTS AT NIAGARA-ON-THE-LAKE	2
Ambient water	2
Trace metals in ambient water	2
Trace metal loadings to Lake Ontario	2
Organic contaminants in ambient water	2
Organic contaminant loadings to Lake Ontario	4
Suspended sediments	5
Trace metals in suspended sediments	5
Chlorinated organics in suspended sediments	7
Chlorinated pesticides and PCBs	7
Chlorobenzenes	7
Other organic contaminants: PAHs and phthalates	8
Summary	8
3. DISTRIBUTION THROUGHOUT THE NIAGARA RIVER SYSTEM	9
Ambient water	9
Trace metals in ambient water	9
Organic contaminants in ambient waters (total water)	11
Organic contaminants in ambient waters (aqueous fraction – APLE samples)	12
Discussion of parameters measured	12
Bottom sediments	14
Trace metals in bottom sediments	14
Sampling methods	14
Interrelationships between metals and sediment characteristics in Niagara River bottom sediments	16
Organic contaminants in bottom sediments	17
Interrelationships between organics and sediment characteristics in the bottom sediments of the Niagara River	18
Suspended sediments	18
Concentrations of suspended sediments	18
Metals in suspended sediments	19
Organic contaminants in suspended sediments	19
Biota – spottail shiners (*Notropis hudsonius*)	21
Sample collection and analysis	21
Organic contaminants in spottails	21
Trace metals in spottails	22
Summary	22
REFERENCES	47

Tables

		Page
1.	Water Quality Branch, Ontario Region, activities on the Niagara River	1
2.	Median concentrations of trace metal samples collected in the Niagara River at Niagara-on-the-Lake, 1975-82	3
3.	Percentage of weekly water samples violating 1978 agreement objectives in the Niagara River at Niagara-on-the-Lake, 1975-82	3
4.	Yearly loadings of total trace metals to Lake Ontario at Niagara-on-the-Lake by the Niagara River, 1975-82	3
5.	Organochlorine concentrations in ambient water at Niagara-on-the-Lake, 1980-82	4
6a.	Organochlorine loadings to Lake Ontario from the Niagara River, 1979-81	4
6b.	Total organochlorine loadings to Lake Ontario by the Niagara River	4
6c.	Organochlorine loadings to Lake Ontario by Niagara River suspended sediments	5
7.	Chlorobenzene loadings to Lake Ontario by Niagara River suspended sediments	5
8a.	Extractable metal concentrations in suspended sediments at Niagara-on-the-Lake	6
8b.	Total metal concentrations in suspended sediments at Niagara-on-the-Lake.	6
8c.	Total metal loadings to Lake Ontario by Niagara River suspended sediments.	6
8d.	Suspended sediment contribution of metals to total load from the Niagara River to Lake Ontario in 1982	7
9.	Organochlorine concentrations in suspended sediments at Niagara-on-the-Lake, 1979-81	7
10.	Chlorobenzene concentrations dry weight in suspended sediments at Niagara-on-the-Lake, 1980	7
11.	Phthalates and PAH concentrations in suspended sediments of the Niagara River at Niagara-on-the-Lake	8
12.	Sampling locations in the upper Niagara River, 1975 and 1979.	9
13.	Mean trace metal concentrations in the upper Niagara River, 1975 and 1979	10
14.	Percent of total trace metal values exceeding IJC objectives in 1975 and 1979 in the upper Niagara River	10
15.	Organic contaminant concentrations in the upper Niagara River, 1979.	11
16.	Organic contaminants in total water samples of the Niagara River, 1981	11
17.	Distribution of chlorinated organics in the aqueous fraction of the Niagara River, 1981	13
18.	Lower Niagara River bottom sediment description.	14
19.	Upper Niagara River bottom sediment description	14
20.	Bottom sediment characteristics in the Niagara River, May 1981	15
21a.	Correlation matrix showing degree of relationship between variables including trace metals in bottom sediments of the Niagara River, May 1981	16
21b.	Correlation matrix showing degree of relationship between variables including organic contaminants in bottom sediments of the Niagara River, May 1981	16
22.	Suspended sediment characteristics of the Niagara River, 1981.	18
23a.	Summary of number of detections and mean concentrations of pesticide and total PCB residues in suspended sediments at two locations in the Niagara River, April 1979 to April 1980	19
23b.	Revised means if high values are removed.	19
24.	Distribution of chlorinated organics in the suspended sediments of the Niagara River, 1981	20
25.	Spottail shiner station descriptions in the Niagara River, 1982	21
26.	Metals in spottail shiners in the Niagara River, September 1982	22

Illustrations

Page

Figure 1. Sampling location on the Niagara River at Niagara-on-the-Lake 2
Figure 2. Sampling locations on the upper Niagara River 24
Figure 3. Mean total iron concentrations in the upper Niagara River, 1979 24
Figure 4. December 1979 storm effects at station 20.5A in the upper Niagara River . . . 24
Figure 5. Sampling locations on the Niagara River, May 1981 Trace Metal Survey. 25
Figure 6. Total iron concentrations in water of the Niagara River, May 1981. 25
Figure 7. Total zinc concentrations in water of the Niagara River, May 1981. 25
Figure 8. Total copper concentrations in water of the Niagara River, May 1981 25
Figure 9. Extractable aluminum concentrations in water of the Niagara River, May 1981 26
Figure 10. Total chromium concentrations in water of the Niagara River, May 1981. . . . 26
Figure 11. Total lead concentrations in water of the Niagara River, May 1981. 26
Figure 12. Total nickel concentrations in water of the Niagara River, May 1981. 26
Figure 13. Station locations in the Niagara River for total water and large-volume aqueous samples, 1981 27
Figure 14. Distribution of α-BHC in the aqueous phase of the Niagara River, 1981. 27
Figure 15. Distribution of γ-BHC in the aqueous phase of the Niagara River, 1981. 27
Figure 16. Distribution of heptachlor epoxide in the aqueous phase of the Niagara River, 1981 28
Figure 17. Distribution of endrin in the aqueous phase of the Niagara River, 1981 28
Figure 18. Distribution of dieldrin in the aqueous phase of the Niagara River, 1981 28
Figure 19. Distribution of p,p′-DDT in the aqueous phase of the Niagara River, 1981 . . . 28
Figure 20. Distribution of p,p′-DDE in the aqueous phase of the Niagara River, 1981 . . . 29
Figure 21. Distribution of p,p′-TDE in the aqueous phase of the Niagara River, 1981 . . . 29
Figure 22. Distribution of total DDT in the aqueous phase of the Niagara River, 1981 . . 29
Figure 23. Distribution of total PCBs in the aqueous phase of the Niagara River, 1981 . . 29
Figure 24. Bottom sediment sampling locations in the Niagara River, May 1981. 30
Figure 25. Bottom sediment sampler (USBM-54) used in the Niagara River, 1981 30
Figure 26. Distribution of clay and silt (percent) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 31
Figure 27. Distribution of sand (percent) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 31
Figure 28. Distribution of volatile solids (percent) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981. 31
Figure 29. Distribution of extractable cadmium in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 31
Figure 30. Distribution of extractable chromium in bottom sediments of the Niagara River, May 1981. 32
Figure 31. Distribution of extractable cobalt in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 32
Figure 32. Distribution of extractable copper in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 32
Figure 33. Distribution of extractable lead in bottom sediments in the Niagara River, May 1981 32
Figure 34. Distribution of extractable nickel in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 33
Figure 35. Distribution of extractable zinc in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 33
Figure 36. Distribution of total mercury in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 33

Tables

		Page
1.	Water Quality Branch, Ontario Region, activities on the Niagara River	1
2.	Median concentrations of trace metal samples collected in the Niagara River at Niagara-on-the-Lake, 1975-82	3
3.	Percentage of weekly water samples violating 1978 agreement objectives in the Niagara River at Niagara-on-the-Lake, 1975-82	3
4.	Yearly loadings of total trace metals to Lake Ontario at Niagara-on-the-Lake by the Niagara River, 1975-82	3
5.	Organochlorine concentrations in ambient water at Niagara-on-the-Lake, 1980-82	4
6a.	Organochlorine loadings to Lake Ontario from the Niagara River, 1979-81	4
6b.	Total organochlorine loadings to Lake Ontario by the Niagara River	4
6c.	Organochlorine loadings to Lake Ontario by Niagara River suspended sediments	5
7.	Chlorobenzene loadings to Lake Ontario by Niagara River suspended sediments	5
8a.	Extractable metal concentrations in suspended sediments at Niagara-on-the-Lake	6
8b.	Total metal concentrations in suspended sediments at Niagara-on-the-Lake	6
8c.	Total metal loadings to Lake Ontario by Niagara River suspended sediments	6
8d.	Suspended sediment contribution of metals to total load from the Niagara River to Lake Ontario in 1982	7
9.	Organochlorine concentrations in suspended sediments at Niagara-on-the-Lake, 1979-81	7
10.	Chlorobenzene concentrations dry weight in suspended sediments at Niagara-on-the-Lake, 1980	7
11.	Phthalates and PAH concentrations in suspended sediments of the Niagara River at Niagara-on-the-Lake	8
12.	Sampling locations in the upper Niagara River, 1975 and 1979	9
13.	Mean trace metal concentrations in the upper Niagara River, 1975 and 1979	10
14.	Percent of total trace metal values exceeding IJC objectives in 1975 and 1979 in the upper Niagara River	10
15.	Organic contaminant concentrations in the upper Niagara River, 1979	11
16.	Organic contaminants in total water samples of the Niagara River, 1981	11
17.	Distribution of chlorinated organics in the aqueous fraction of the Niagara River, 1981	13
18.	Lower Niagara River bottom sediment description	14
19.	Upper Niagara River bottom sediment description	14
20.	Bottom sediment characteristics in the Niagara River, May 1981	15
21a.	Correlation matrix showing degree of relationship between variables including trace metals in bottom sediments of the Niagara River, May 1981	16
21b.	Correlation matrix showing degree of relationship between variables including organic contaminants in bottom sediments of the Niagara River, May 1981	16
22.	Suspended sediment characteristics of the Niagara River, 1981	18
23a.	Summary of number of detections and mean concentrations of pesticide and total PCB residues in suspended sediments at two locations in the Niagara River, April 1979 to April 1980	19
23b.	Revised means if high values are removed	19
24.	Distribution of chlorinated organics in the suspended sediments of the Niagara River, 1981	20
25.	Spottail shiner station descriptions in the Niagara River, 1982	21
26.	Metals in spottail shiners in the Niagara River, September 1982	22

Illustrations

Page

Figure 1. Sampling location on the Niagara River at Niagara-on-the-Lake 2
Figure 2. Sampling locations on the upper Niagara River 24
Figure 3. Mean total iron concentrations in the upper Niagara River, 1979 24
Figure 4. December 1979 storm effects at station 20.5A in the upper Niagara River . . . 24
Figure 5. Sampling locations on the Niagara River, May 1981 Trace Metal Survey. 25
Figure 6. Total iron concentrations in water of the Niagara River, May 1981. 25
Figure 7. Total zinc concentrations in water of the Niagara River, May 1981. 25
Figure 8. Total copper concentrations in water of the Niagara River, May 1981 25
Figure 9. Extractable aluminum concentrations in water of the Niagara River, May 1981 26
Figure 10. Total chromium concentrations in water of the Niagara River, May 1981. . . . 26
Figure 11. Total lead concentrations in water of the Niagara River, May 1981. 26
Figure 12. Total nickel concentrations in water of the Niagara River, May 1981. 26
Figure 13. Station locations in the Niagara River for total water and large-volume aqueous samples, 1981 27
Figure 14. Distribution of α-BHC in the aqueous phase of the Niagara River, 1981. 27
Figure 15. Distribution of γ-BHC in the aqueous phase of the Niagara River, 1981. 27
Figure 16. Distribution of heptachlor epoxide in the aqueous phase of the Niagara River, 1981 28
Figure 17. Distribution of endrin in the aqueous phase of the Niagara River, 1981 28
Figure 18. Distribution of dieldrin in the aqueous phase of the Niagara River, 1981 28
Figure 19. Distribution of p,p'-DDT in the aqueous phase of the Niagara River, 1981 . . . 28
Figure 20. Distribution of p,p'-DDE in the aqueous phase of the Niagara River, 1981 . . . 29
Figure 21. Distribution of p,p'-TDE in the aqueous phase of the Niagara River, 1981 . . . 29
Figure 22. Distribution of total DDT in the aqueous phase of the Niagara River, 1981 . . 29
Figure 23. Distribution of total PCBs in the aqueous phase of the Niagara River, 1981 . . 29
Figure 24. Bottom sediment sampling locations in the Niagara River, May 1981. 30
Figure 25. Bottom sediment sampler (USBM-54) used in the Niagara River, 1981 30
Figure 26. Distribution of clay and silt (percent) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 31
Figure 27. Distribution of sand (percent) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 31
Figure 28. Distribution of volatile solids (percent) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981. 31
Figure 29. Distribution of extractable cadmium in bottom sediments of the Niagara River, May 1991 31
Figure 30. Distribution of extractable chromium in bottom sediments of the Niagara River, May 1981. 32
Figure 31. Distribution of extractable cobalt in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 32
Figure 32. Distribution of extractable copper in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 32
Figure 33. Distribution of extractable lead in bottom sediments in the Niagara River, May 1981 32
Figure 34. Distribution of extractable nickel in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 33
Figure 35. Distribution of extractable zinc in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 33
Figure 36. Distribution of total mercury in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 33

Illustrations (Cont.)

Page

Figure 37. Distribution of total arsenic in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 33
Figure 38. Distribution of total selenium in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 34
Figure 39. Distribution of organic carbon (percent) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981. 34
Figure 40. Distribution of organic nitrogen in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 34
Figure 41. Distribution of α-BHC (lindane) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 34
Figure 42. Distribution of γ-BHC (lindane) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 35
Figure 43. Distribution of heptachlor epoxide in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 35
Figure 44. Distribution of α-chlordane in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 35
Figure 45. Distribution of γ-chlordane in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 35
Figure 46. Distribution of α-endosulfan in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 36
Figure 47. Distribution of β-endosulfan in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 36
Figure 48. Distribution of p,p′-DDT in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 36
Figure 49. Distribution of p,p′-DDE in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 36
Figure 50. Distribution of p,p′-TDE in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 37
Figure 51. Distribution of dieldrin in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 37
Figure 52. Distribution of endrin in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 37
Figure 53. Distribution of mirex in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 37
Figure 54. Distribution of methoxychlor in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 38
Figure 55. Distribution of total PCBs in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 38
Figure 56. Distribution of dichlorobenzenes in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 38
Figure 57. Distribution of trichlorobenzenes in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 38
Figure 58. Distribution of tetrachlorobenzenes in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 39
Figure 59. Distribution of pentachlorobenzenes in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 39
Figure 60. Distribution of hexachlorobenzenes in bottom sediments of the Niagara River, May 1981 39
Figure 61. Distribution of suspended sediments in the Niagara River, 1981 40

Illustrations (Cont.)

Page

Figure 62. Distribution of total mercury in suspended sediments of the Niagara River, 1981 40
Figure 63. Distribution of total arsenic in suspended sediments of the Niagara River, 1981 40
Figure 64. Distribution of organic carbon (percent) in suspended sediments of the Niagara River, 1981 40
Figure 65. Distribution of organic nitrogen (percent) in suspended sediments of the Niagara River, 1981 41
Figure 66. Distribution of α-BHC in suspended sediments of the Niagara River, 1981 . . . 41
Figure 67. Distribution of heptachlor epoxide in suspended sediments of the Niagara River, 1981 41
Figure 68. Distribution of α-chlordane in suspended sediments of the Niagara River, 1981 41
Figure 69. Distribution of α-endosulfan in suspended sediments of the Niagara River, 1981 42
Figure 70. Distribution of dieldrin in suspended sediments of the Niagara River, 1981 42
Figure 71. Distribution of p,p′-DDT in suspended sediments of the Niagara River, 1981 42
Figure 72. Distribution of p,p′-DDE in suspended sediments of the Niagara River, 1981 42
Figure 73. Distribution of total DDT in suspended sediments of the Niagara River, 1981 43
Figure 74. Distribution of mirex in suspended sediments of the Niagara River, May 1981 43
Figure 75. Distribution of total PCBs in suspended sediments of the Niagara River, 1981 43
Figure 76. Distribution of dichlorobenzenes in suspended sediments of the Niagara River, 1981 43
Figure 77. Distribution of trichlorobenzenes in suspended sediments of the Niagara River, 1981 44
Figure 78. Distribution of tetrachlorobenzenes in suspendod sediments of the Niagara River, 1981 44
Figure 79. Distribution of pentachlorobenzenes in suspended sediments of the Niagara River, 1981 44
Figure 80. Distribution of hexachlorobenzenes in suspended sediments of the Niagara River, 1981 44
Figure 81. Distribution of total chlorobenzenes in suspended sediments of the Niagara River, 1981 45
Figure 82. Sampling locations on the Niagara River for spottail shiners, September 1982 45
Figure 83. Total PCBs in spottail shiners in the Niagara River, September 1982 45
Figure 84. Mirex in spottail shiners in the Niagara River, September 1982. 46
Figure 85. Total DDT in spottail shiners in the Niagara River, September 1982 46
Figure 86. Dieldrin in spottail shiners in the Niagara River, September 1982 46
Figure 87. 1,4-Dichlorobenzene in spottail shiners in the Niagara River, September 1982 46

Abstract

Between 1975 and 1982, Water Quality Branch, Ontario Region, collected water quality samples in the Niagara River system. This report summarizes the results obtained for toxic contaminants and trace metals from these monitoring activities. Various types of samples, including unfiltered water samples, suspended and bottom sediments and spottail shiners (*Notropis hudsonius*), have been analyzed for these constituents. In addition, large-volume (200 L) aqueous phase water samples were extracted for toxic organic contaminants. Data have been subdivided into two major categories: (1) data collected at a single fixed station at Niagara-on-the-Lake and (2) data collected at various survey stations throughout the Niagara River system. Violations to the 1978 Great Lakes Water Quality Agreement specific objectives or Ontario Ministry of the Environment guidelines are indicated, and loadings to Lake Ontario have been calculated and presented.

Résumé

Entre 1975 et 1982, la Direction de la qualité des eaux, région de l'Ontario, a prélevé des échantillons d'eau dans la rivière Niagara. Le présent rapport résume le résultat des contrôles des contaminants toxiques et des métaux à l'état de trace. Différents types d'échantillons, dont des échantillons d'eau non filtrée, de sédiments en suspension, de sédiments du lit et de queues à tache noire (*Notropis hudsonius*) ont été analysés au regard de ces constituants. De plus, on a prélevé des échantillons volumineux (200 L) d'eau en vue d'y déceler des contaminants organiques toxiques. Les données ont été subdivisées en deux grandes catégories : 1) celles qui proviennent de la station fixe de Niagara-on-the-Lake et 2) celles de différentes stations le long de la rivière Niagara. Les cas de non-respect de certains objectifs précis de l'Accord de 1978 relatif à la qualité de l'eau dans les Grands lacs ou des lignes directrices du ministère de l'Environnement de l'Ontario ont été notés, et les apports vers le lac Ontario ont été calculés et sont communiqués.

Acknowledgments

The author wishes to express sincere appreciation to all who contributed to this study. Special thanks are extended to the staff of the Monitoring and Surveys Division, Water Quality Branch, Ontario Region, who collected most of the samples and especially to Rob Stevens for critically reviewing this material. The author also thanks the staff of the Water Quality Branch, Ontario Region Laboratory, who performed all the analyses. As well, the author thanks the master and crew of the *Advent* and Barry Moore of the Technical Operations Section of Canada Centre for Inland Waters (CCIW) for their generous cooperation during the 1981 field surveys. Special thanks are extended to M. Donnelly of the Drafting and Illustration Section, CCIW, who completed all figures and illustrations, and to K. Lum of the National Water Research Institute, who completed the total metals analysis of the suspended sediments.

Executive Summary

This report summarizes the toxic contaminants and trace metal monitoring activities carried out by the Water Quality Branch, Ontario Region, in the Niagara River system between 1975 and 1982. Data have been subdivided into two major categories: (1) data collected at a single fixed station at Niagara-on-the-Lake and (2) data collected at various survey stations throughout the Niagara River system.

Fixed Station

Metals

Unfiltered water samples have been collected weekly from Niagara-on-the-Lake since 1975. The total trace metal results indicate that there has been no apparent change in annual median concentration or loading during the last seven years, except for iron and aluminum, which both increased until 1981. This increase was due to natural factors, primarily higher wind velocities in the eastern basin of Lake Erie, which caused resuspension of bottom sediments.

The results of a number of tests for iron, copper and cadmium exceeded the 1978 Great Lakes Water Quality Agreement specific objectives, but the cause of the excess was always natural, usually increased suspension of bottom sediments in Lake Erie. For example, 1980 data showed that concentrations exceeding the objectives ranged from 2% for measurements of Cd to more than 50% for Fe and 10% for Cu.

Ontario Ministry of the Environment dredge spoil objectives are often exceeded in the suspended sediments collected at Niagara-on-the-Lake. Concentrations of Cd, Pb, Cu, Cr, Ni and Zn in suspended sediments exceeded these objectives more than 70% of the time.

The loading of metals such as Cr, Ni, Pb, Fe and Zn to Lake Ontario is almost completely derived from the suspended sediment rather than from the dissolved phase. The minimum contribution is 70% for Cr, the maximum almost 100% for Pb, Fe and Zn.

Organics

Nineteen organochlorine compounds were measured in raw water and in the suspended sediments at Niagara-on-the-Lake. Loadings were calculated for both phases, and percentage organochlorine loadings from suspended sediments were less than expected. Suspended sediments contributed more than 40% of the total load for only total DDT (mostly DDE), hexachlorobenzene, total PCBs and mirex. For all the other compounds measured the water fraction contributed more than 60% of the total load. Thus, very low detection limits for water sample analysis are required to obtain accurate total loading estimates.

Of the 19 organochlorine compounds routinely measured in ambient water samples (unfiltered) at Niagara-on-the-Lake, eight were detected in more than 50% of the samples collected (i.e., total PCBs, α- and γ-BHC, dieldrin, HCB, α- and γ-chlordane and p,p′-DDE). Of these, three (total PCBs, and α- and γ-BHC) were detected at median concentrations greater than 1 ng L^{-1}.

Higher PCB loadings to Lake Ontario than previously reported (Frank *et al.*, 1979) have been calculated from these data. Mirex and total DDT loadings remain about the same as previously reported by Frank *et al.* (1979).

Of the 19 organochlorine compounds measured in suspended sediments collected at Niagara-on-the-Lake, 11 (total PCBs, HCB, p,p′-DDE, p,p′-DDT, mirex, α-BHC, dieldrin, γ-chlordane, p,p′-TDE, p,p′-methoxychlor and α-chlordane) were detected in more than 50% of the samples. Of these, total PCBs, HCB and p,p′-DDE occurred at median concentrations above 10 ng g^{-1}. Eleven chlorobenzene compounds have also been measured in suspended sediments at Niagara-on-the-Lake. The compound with the widest usage (i.e. 1,4-dichlorobenzene) (Oliver and Nicol, 1982) was also the most abundant in the suspended sediments.

Survey Data

A series of surveys undertaken in the upper Niagara River in 1979 showed statistically significant ($P > 0.05$) cross-stream differences in total iron, total manganese and total zinc in the Tonawanda Channel. Levels of most metals were higher in the Tonawanda Channel than in the Chippawa Channel. Violations of the 1978 Great Lakes Water Quality Agreement specific objectives occurred frequently for total iron, especially during storm events in the eastern basin of Lake Erie. Other parameters such as turbidity, fecal coliform and total phosphorus also showed large increases during these events.

In a survey of trace metals throughout the Niagara River in May 1981, several violations of the 1978 Great Lakes Water Quality Agreement objectives were observed. At one station (34.68) just downstream from two Buffalo Sewer Authority outfalls, violations of 1978 Agreement objectives were observed for zinc, nickel, cadmium and copper.

Prior to 1979, analytical methodology was unable to detect many of the organochlorines in Niagara River ambient waters. In 1979, with new lower detection limits, lindane and α-BHC were detected in more than 50% of the samples collected. In 1981, total PCBs, and α- and γ-BHC were detected in more than 50% of the samples collected at median values above 1 ng L^{-1}.

A new sampler (McCrea, 1982), capable of extracting organics from a 200-L water sample (operational definition), was used during 1981 surveys on the Niagara River. These data have shown that concentrations of heptachlor epoxide, α-endosulfan, total PCBs, p,p′-DDE, γ-BHC and all of the chlorobenzenes except dichlorobenzene in the aqueous fraction of the Niagara River increase by a factor of more than two from the Fort Erie inlet of the Niagara River to the Niagara-on-the-Lake outlet. This indicates that significant sources of these compounds are present within the basin itself.

Five major areas of contamination were located in the 1981 survey of bottom sediments. These are the lower end of the Black Rock Canal by Scajaquada Creek, the Tonawanda Island–Love Canal–Little River area, the Buffalo River, the Strawberry Island area and the Queenston area. High metal concentrations, often above Ontario Ministry of the Environment dredge spoil criteria, were observed in many of these areas. Levels of metals and numbers of violations were consistently higher on the United States side of the river. Particle size analysis indicated some significant relationships between metals, but not between metals and clay and silt abundances, indicating that metal concentrations are not dependent on sediment adsorptive capability but rather on other factors such as location of input sources or current velocity in the sampling area. High organic contaminant concentrations were also found in these areas. None of the organic contaminants were significantly related to sediment adsorptive capacity characteristics such as percent clay and silt or percent volatile solids. This suggests that contaminant concentrations are not associated with different sediment types but are more likely related to sources in the areas sampled.

Measurements of suspended sediments at five locations in the Niagara River in 1981 indicated that a higher concentration of suspended sediments occurred at Niagara-on-the-Lake than at Fort Erie. This increase of nearly three times the concentration is probably the result of erosion and scouring of the river bottom as well as inputs. However, organic carbon and nitrogen content of the suspended sediments at Niagara-on-the-Lake were only about 40% of those at Fort Erie. This indicates an addition of inorganic material load to the Niagara River during its course. Mercury concentrations at Niagara-on-the-Lake were about four times higher than at Fort Erie, indicating sources of mercury along the river system.

Some compounds for which Lake Erie suspended sediments appear to be a significant source to the Niagara River are p,p′-DDE, α-BHC, p,p′-TDE, dieldrin, and α-chlordane.

A survey completed in 1979 indicated that suspended sediments carried higher organic contaminant concentrations in the lower Niagara River than in the upper Niagara. Additional data collected in 1981 supported this finding and indicated that suspended sediments in the lower Niagara River were considerably enriched in organics, particularly with respect to total PCBs, p,p′-DDT, α-endosulfan and chlorobenzenes.

In mid-September 1982, collections of spottail shiners (*Notropis hudsonius*) were made at seven stations in the Niagara River. Polychlorinated biphenyls, p,p′-DDE and dieldrin were detected at more than 50% of these locations. Polychlorinated biphenyls at all stations in the Niagara River except the Frenchman's Creek station violated the 1978 Great Lakes Water Quality Agreement specific objective of 100 ng g^{-1} for PCBs in fish. High PCB concentrations were observed in spottail shiners at the stations of the 102nd Street dumpsite (800 ng g^{-1}) and downstream from Hooker Chemical at the search and rescue station, just upstream from the American Falls (2690 ng g^{-1}). Metal concentrations in spottail shiners were also elevated in the lower Niagara River. Cadmium was two to three times higher; nickel and zinc were somewhat higher and lead was three to four times higher in the lower Niagara River than in the upper Niagara River.

Introduction

Contamination of the Niagara River has long been of concern to government agencies and the public. Since the early 1950s, the International Joint Commission has released reports addressing issues of bacterial pollution, phenol and oil problems, excessive levels of iron, phosphorus, chloride and mercury and aesthetic impairment by foams and discolouration (International Joint Commission, 1951, 1967, 1971). With the signing of the 1972 Canada-United States Great Lakes Water Quality Agreement (GLWQA), significant progress has been made in alleviating many of these problems, principally through increased control and treatment of municipal and industrial discharges in response to stricter regulation.

By 1978, however, public concern had arisen over the recurring detection of persistent, bioaccumulating toxic substances, particularly PCBs and mirex, in the biota and bottom sediments of Lake Ontario (Kaiser, 1974; Hallett and Norstrom, 1977).

Coincidentally, the gravity of the Love Canal situation was realized and numerous dumpsites were discovered along the United States side of the Niagara River (Interagency Task Force, 1979). These included Hyde Park, 102nd Street and the S-Area dumpsites. All of these dumpsites were reported to contain toxic chemicals.

In partial fulfillment of Canada's commitments for surveillance and monitoring under the 1972 GLWQA, the Water Quality Branch of Environment Canada's Inland Waters Directorate, Ontario Region (WQB-OR) began conducting major water quality surveys on the Niagara River in 1975. In addition, a daily sampling program was established at Niagara-on-the-Lake. The strategic location of this station permitted the determination of representative quantities of material transported between Lakes Erie and Ontario (Chan, 1977). Initially, only daily nutrient and weekly major ion and trace metal samples were collected in response to the current environmental concerns. As attention was diverted from the problems of more conventional pollutants to those of toxic organic contaminants, this program was expanded to include weekly monitoring of suspended sediments as a possible source of toxic organics to Lake Ontario.

With the release of the Interagency Task Force report in 1979, the effects of these toxic chemicals on the populace and the ecosystem became a major environmental concern. Therefore, WQB-OR undertook an extensive survey of toxic chemicals in the water, suspended sediments and bottom sediments of the Niagara River in 1981.

This report is a summary of the Water Quality Branch activities in the Niagara River since 1975, as outlined in Table 1. Special emphasis is given to the toxic contaminants and trace metal monitoring completed in the Niagara River system between 1975 and 1982. To avoid confusion there are two major sections: (1) data collected at a single station at Niagara-on-the-Lake and (2) data collected at various stations throughout the Niagara River system.

Table 1. Water Quality Branch, Ontario Region, Activities on the Niagara River

Surveys completed	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Daily water quality sampling at Niagara-on-the-Lake	←pH, Specific conductance, Nutrients (daily), Major ions, Metals (weekly) →							
						← Organics (weekly) →		
Suspended sediment quality at Niagara-on-the-Lake				← Metals, Organics (weekly) or (bi-weekly) →				
Water quality surveys throughout the river								
Water	X				X		X	
Suspended sediment					X		X	
Bottom sediment							X	

Measurements at Niagara-on-the-Lake

AMBIENT WATER

Trace Metals in Ambient Water

Weekly samples of unfiltered water have been collected for trace metal analysis from a station in the Niagara River adjacent to Niagara-on-the-Lake since 1975 (Fig. 1). Analysis included aluminum (extractable), cadmium (total), chromium (total), copper (total), iron (total), lead (total), manganese (total), nickel (total), zinc (total) and mercury (extractable). Annual median concentrations of these metals at Niagara-on-the-Lake are presented in Table 2.

High seasonal variation of iron and aluminum was observed and appeared to be related to natural climatic events such as heavy rainfall or high winds. Yet despite this variation, both metals exhibited a constantly increasing annual trend until 1981, when a dramatic decrease was observed. In 1982, iron concentrations once again increased to a value slightly higher than in 1980. An analysis of the National Oceanic and Atmospheric Administration data collected at the Buffalo Airport revealed that the frequency of days with average daily winds above 20 mph was lower in 1981 than in 1979 and 1980. During 1979 and 1980, there were 12 and 10 days, respectively, with average wind speeds greater than 20 mph. In 1981, however, there were only six days with average winds of this magnitude, while in 1982, there were 33 days with average winds above 20 mph.

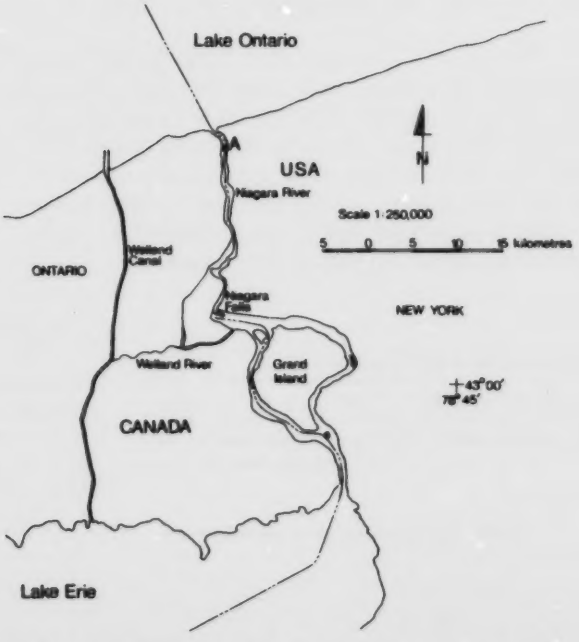


Figure 1. Sampling location on the Niagara River at Niagara-on-the-Lake.

Violations of the 1978 GLWQA objectives, expressed as percentages, are given in Table 3 for the 1975–82 period. The most frequent violations were observed for copper and iron and, to some extent, are related to climatic events such as winds and rainfall.

Trace Metal Loadings to Lake Ontario

Total trace metal loadings to Lake Ontario were calculated from the weekly data collected at Niagara-on-the-Lake since 1975. These figures, given in Table 4, were derived from the product of the median yearly concentrations for each metal and the yearly average flow of the Niagara River as measured at Queenston by Environment Canada (6448 m^3s^{-1}).

These data indicate substantial increases in total iron and aluminum from 1975 to 1980, a decrease in 1981 and an increase in 1982. These increases are probably the result of greater disturbance caused by wind stress in Lake Erie. The wind stress seems to have been considerably lower in 1981 but then considerably higher in 1982.

Organic Contaminants in Ambient Water

Monitoring of organic contaminants in ambient waters of the Niagara River at Niagara-on-the-Lake has continued since 1980. Several classes of compounds, including PCBs and chlorinated pesticides, have been monitored on a weekly or bi-weekly basis. Results for the 1980–82 period are summarized in Table 5.

Table 2. Median Concentrations (mg L^{-1}) of Trace Metal Samples Collected in the Niagara River at Niagara-on-the-Lake, 1975–82

Parameter	1975 (19)*	1976 (51)	1977 (48)	1978 (43)	1979 (41)	1980 (62)	1981 (47)	1982 (52)
Iron	0.110	0.110	0.140	0.160	0.200	0.380	0.140	0.390
Aluminum	0.040	0.060	0.050	0.050	0.100	0.150	0.050	0.070
Manganese	0.004	0.010	0.006	0.009	0.008	0.024	<0.010	<0.020
Nickel	0.002	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.001	0.001
Zinc	0.003	0.005	0.005	0.004	0.003	0.004	0.002	0.003
Copper	0.003	0.006	0.010	0.004	0.003	0.002	0.003	0.002
Chromium	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003	0.001	0.002
Lead	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	<0.001
Cyanide	–	–	–	–	0.002	0.003	0.004	–
Cadmium	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Mercury	–	–	–	–	<0.000 05	<0.000 05	<0.000 05	<0.0005
Arsenic	–	–	–	–	–	0.000 5	0.000 5	0.0006

*Number of observations are given in parentheses.

Table 3. Percentage of Weekly Water Samples Violating 1978 Agreement Objectives in the Niagara River at Niagara-on-the-Lake, 1975–82

Parameter	1978 IJC specific objective (mg L^{-1})	Percentage of violations at Niagara-on-the-Lake							
		1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Iron	0.300	0	20	15	19	41	52	13	52
Copper	0.005	16	61	79	40	33	11	19	27
Nickel	0.025	0	0	2	0	0	0	0	2
Zinc	0.030	0	0	2	0	0	0	0	0
Cadmium	0.0002	0	6	6	0	5	2	2	0
Chromium	0.100	0	0	0	0	0	0	0	0
Lead	0.025	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 4. Yearly Loadings (t yr^{-1}) of Total Trace Metals to Lake Ontario at Niagara-on-the-Lake by the Niagara River, 1975–82

Parameter	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Iron	22 400	22 400	28 500	32 560	40 700	77 330	28 490	79 360
Aluminum	8 150	12 200	10 200	10 200	20 300	30 530	10 200	14 240
Manganese	810	2 040	1 220	1 830	1 630	4 880	2 040	<4 070
Nickel	410	610	610	410	610	610	200	200
Zinc	610	1 020	1 020	810	610	810	410	610
Copper	610	1 220	2 040	810	610	410	610	410
Chromium	410	200	410	200	200	610	200	410
Lead	410	410	200	200	200	410	200	200
Cyanide	–	–	–	–	410	610	810	–
Cadmium	200	200	200	200	200	200	200	<200
Mercury	–	–	–	–	10	10	10	<10
Arsenic	–	–	–	–	–	100	100	120

Note: Mean discharge for 1975–82 = 6448 $m^3 s^{-1}$.

Table 5. Organochlorine Concentrations (ng L^{-1}) in Ambient Water at Niagara-on-the-Lake, 1980–82

Parameter (75 samples)	Confirmed detections			
	Percent	Median	Mean	S.D.
Total PCBs	97	11.0	19.9	34.7
α-BHC	100	9.7	10.5	5.2
γ-BHC	99	1.8	2.1	1.5
Dieldrin	93	0.6	0.6	0.3
HCB	95	0.5	0.8	0.9
γ-Chlordane	68	0.3	0.5	0.8
α-Chlordane	64	0.2	0.3	0.3
p,p′-DDE	61	0.1	0.3	0.5
Heptachlor epoxide	47	<0.1	0.5	1.0
p,p′-DDT	40	<0.1	0.2	0.5
β-Endosulfan	15	<0.1	0.1	0.4
α-Endosulfan	13	<0.1	0.1	0.4
Endrin	11	<0.1	<0.1	0.1
p,p′-TDE	9	<0.1	0.1	0.2
p,p′-Methoxychlor	7	<0.1	0.1	0.3
o,p-DDT	1	<0.1	<0.1	–
Mirex	1	<0.1	<0.1	–
Aldrin	1	<0.1	<0.1	–
Heptachlor	0	<0.1	<0.1	–

Note: Zero was used for detection limit values.
Source: Kuntz and Warry (1983).

Of the 19 organochlorine compounds routinely measured, eight were detected in more than 50% of the samples collected, including total PCBs, α- and γ-chlordane, dieldrin, hexachlorobenzene, α- and γ-BHC and p,p′-DDE. Of these, only total PCBs and α- and γ-BHC were detected at median concentrations greater than 1 ng L^{-1}.

Organic Contaminant Loadings to Lake Ontario

Organochlorine pesticides and PCB loadings to Lake Ontario have been calculated for both suspended sediments and total water fractions (unfiltered) for the Niagara River at Niagara-on-the-Lake (Table 6a). These data, taken from Kuntz and Warry (1983), show higher PCB loadings than previously reported. Mirex and total DDT loadings to Lake Ontario remain about the same as previously observed. One of the most striking observations is that the percentage of the loadings contributed by the suspended sediment fraction is not as important as previously believed. The sediment contribution is important for DDT (mostly DDE), HCB, total PCBs and mirex. For other compounds, however, it accounts for less than 25% of the loading. Therefore accurate total loadings cannot be estimated for many of these compounds without sampling the water fraction.

Yearly total organochlorine loadings to Lake Ontario by the Niagara River for the 1980–82 period for water and suspended sediments are given in Tables 6b and 6c, respectively. These data were calculated from the product of the yearly median concentrations, the yearly average discharge and the yearly mean sediment concentration.

In Table 7, yearly chlorobenzene loading estimates (from suspended sediment fraction only) are based on median concentrations. These data indicate that substantial quantities of these compounds bound to suspended sediments were entering Lake Ontario via the Niagara River each year.

Chlorobenzenes have been analyzed during 1981 and 1982 in water samples at Niagara-on-the-Lake. Nearly all data, however, are below detection limits.

Table 6a. Organochlorine Loadings to Lake Ontario (kg yr^{-1}) from the Niagara River, 1979–81

Parameter	Suspended sediments	Unfiltered water (total)	Sediment contribution (%)
Total DDT	41	20	>100
p,p′-DDE	31	20	>100
HCB	84	100	84
Total PCBs	850	2200	39
Mirex	8	20	<42
Methoxychlor	3	20	<17
p,p′-TDE	3	20	<17
γ-Chlordane	3	60	6
Dieldrin	7	120	6
α-Chlordane	2	40	5
α-BHC	8	1940	3
o,p-DDT	10	<20	<50

Source: Kuntz and Warry (1983).

Table 6b. Total Organochlorine Loadings* (kg yr^{-1} unfiltered water) to Lake Ontario by the Niagara River

Parameter	1980	1981	1982
Total PCBs	2 282	2 373	2 568
α-BHC	2 282	1 344	988
γ-BHC	415	218	197
Dieldrin	124	<79	<79
HCB	207	<79	<79
γ-Chlordane	<83	<79	<79
α-Chlordane	<83	<79	<79
p,p′-DDE	<83	<79	<79
Heptachlor epoxide	<83	<79	<79
p,p′-DDT	<83	<79	<79
β-Endosulfan	<83	<79	<79
α-Endosulfan	<83	<79	<79
Endrin	<83	<79	<79
p,p′-TDE	<83	<79	<79
p,p′-Methoxychlor	<83	<79	<79
o,p-DDT	<83	<79	<79
Mirex	<83	<79	<79
Aldrin	<83	<79	<79
Heptachlor	<83	<79	<79
Mean discharge (cfs)	232 140	221 210	220 998
Mean discharge (m^3s^{-1})	6 574	6 265	6 259

*Median concentrations used for loading calculations.

Table 6c. Organochlorine Loadings* to Lake Ontario (kg yr^{-1}) by Niagara River Suspended Sediments

Parameter	1979	1980	1981	1982
Total PCBs	727	780	464	655
HCB	91	62	50	23
p,p′-DDE	36	27	10	<2
p,p′-DDT	17	10	<1	<2
Mirex	10	8	3	13
α-BHC	10	4	4	11
Dieldrin	5	8	3	2
γ-Chlordane	<2	2	4	<2
p,p′-TDE	<2	6	5	<2
p,p′-Methoxychlor	<2	4	<1	<2
α-Chlordane	2	2	4	<2
Heptachlor epoxide	<2	2	<1	<2
α-Endosulfan	<2	<2	<1	<2
γ-BHC	<2	<2	<1	<2
o,p-DDT	<2	<2	<1	<2
Heptachlor	<2	<2	<1	<2
Aldrin	<2	<2	<1	<2
β-Endosulfan	<2	<2	<1	<2
Endrin	<2	<2	<1	<2
Mean discharge (cfs)	222 558	232 140	221 210	220 998
Mean discharge (m^3s^{-1})	6 303	6 574	6 265	6 259
Mean sediment concentration (mg L^{-1})	8.6	9.4	6.9	10.7

*Median concentrations used for loading calculations.

Table 7. Chlorobenzene Loadings* to Lake Ontario (kg yr^{-1}) by Niagara River Suspended Sediments

Parameter	1980	1981	1982
1,3-Di	176	2	2
1,4-Di	138	2	2
1,2-Di	156	2	2
Σ-Di	601	41	2
1,3,5-Tri	27	3	2
1,2,4-Tri	94	3	27
1,2,3-Tri	27	8	2
Σ-Tri	164	53	42
1,2,4,5 + 1,2,3,5-Tetra	39	18	11
1,2,3,4-Tetra	99	34	27
Σ-Tetra	146	44	32
Penta	78	25	29
Hexa	120	46	21
Total chlorobenzenes	1 219	224	186
Mean discharge (cfs)	232 140	221 210	220 998
Mean discharge (m^3s^{-1})	6 574	6 265	6 259
Mean sediment concentration (mg L^{-1})	9.4	6.9	10.7

*Median concentrations used for loading calculations.

SUSPENDED SEDIMENTS

Trace Metals in Suspended Sediments

Results of analysis for cadmium, cobalt, lead, chromium, copper, nickel and zinc (extracted by 0.5 *N* HCl) are summarized in Table 8a. These data did not show any obvious seasonal distribution. Except for cobalt, each of the metals analyzed exceeded Ontario Ministry of the Environment (MOE) dredge spoil criteria most of the time.

Total metal concentrations in suspended sediments at Niagara-on-the-Lake have also been determined through the generous cooperation of Dr. K. Lum of the National Water Research Institute in 1981 and 1982. These concentrations, shown in Table 8b, were considerably higher than extractable metals, as expected, owing to the use of stronger extracting agents. Yearly variation was not large, and nearly every sample violated the MOE dredge spoil criterion for each metal.

Table 8a. Extractable Metal Concentrations ($\mu g\ g^{-1}$) in Suspended Sediments at Niagara-on-the-Lake

Parameter	MOE objective*	1978			1979–80			1981–82		
		No. of observations	Mean	S.D.	No. of observations	Mean	S.D.	No. of observations	Mean	S.D.
Cadmium	1	13	2.4	0.8	35	2.4	1.3	22	1.7	0.8
Lead	50	13	80.0	28.6	35	58.0	18.9	22	51.3	28.0
Cobalt	50	13	6.6	3.3	35	6.5	2.3	22	3.4	0.8
Copper	25	13	46.0	15.1	35	44.0	37.0	22	29.8	12.0
Zinc	100	13	177.0	44.0	35	163.0	50.0	22	170.9	213.5
Nickel	25	13	29.0	16.0	35	24.0	12.0	22	13.6	2.8
Chromium	25	13	39.0	31.0	35	30.0	12.0	22	18.6	8.4

*MOE dredge spoil criterion.

Table 8b. Total Metal Concentrations ($\mu g\ g^{-1}$) in Suspended Sediments at Niagara-on-the-Lake*

Parameter	MOE objective†	1981			1982		
		No. of observations	Mean	S.D.	No. of observations	Mean	S.D.
Cadmium	1	14	7.3	4.0	27	4.7	5.2
Lead	50	29	93	61	27	93	57
Cobalt	50	29	46	26	27	27	11
Copper	25	29	70	44	27	57	14
Zinc	100	29	308	191	27	318	246
Nickel	25	29	61	21	27	73	36
Chromium	25	29	134	65	27	130	60
Manganese	–	29	2 414	2 647	27	874	249
Iron	10 000	12	44 000	33 000	26	37 000	9000

*Analysis completed by Dr. K. Lum of the National Water Research Institute.
†MOE dredge spoil criterion.

Table 8c. Total Metal Loadings* ($t\ yr^{-1}$) to Lake Ontario by Niagara River Suspended Sediments

Parameter	1981	1982
Cadmium	10	10
Lead	127	197
Cobalt	63	57
Copper	95	120
Zinc	420	673
Nickel	83	154
Chromium	183	275
Manganese	3 290	1 850
Iron	60 000	78 300
Mean discharge (cfs)	221 210	220 998
Mean discharge ($m^3 s^{-1}$)	6 265	6 259
Mean sediment concentration ($mg\ L^{-1}$)	6.9	10.7

*Mean concentrations used for loading calculations.

Total metal loadings, calculated from the product of the mean concentration, the yearly mean discharge and the yearly mean sediment concentration are given in Table 8c. Table 8d presents a comparison between total metal load from the Niagara River from total water analysis and extractable and total metal load from the suspended sediment fraction. From these data, the importance of suspended sediments for determining metal loads is obvious, particularly for zinc, iron, lead, nickel, chromium, manganese and copper.

Table 8d. Suspended Sediment Contribution of Metals to Total Load from the Niagara River to Lake Ontario in 1982

Parameter	Total load to Lake Ontario (t yr^{-1})	Extractable metals in suspended sediments (t yr^{-1})	Extractable metals in suspended sediments as percent in total load	Total metals in suspended sediments (t yr^{-1})	Total metals in suspended sediments as percent in total load
Cadmium	<200	4	≥2	10	≥5
Copper	410	63	15	120	29
Manganese	<4 070	–	–	1 850	45
Chromium	410	39	10	275	69
Nickel	200	29	14	154	77
Lead	200	108	54	197	98
Iron	79 360	–	–	78 300	99
Zinc	610	361	59	673	>100

Chlorinated Organics in Suspended Sediments

Chlorinated Pesticides and PCBs

A summary of the organochlorine pesticide and PCB data measured in the suspended sediments of the Niagara River is given in Table 9. Of the 19 chlorinated pesticides and PCBs measured, 11 compounds were detected in more than 50% of the samples collected. Ranked in decreasing order of occurrence, they are total PCBs, HCB, p,p′-DDE, p,p′-DDT, dieldrin, γ-chlordane, mirex, α-BHC, α-chlordane, p,p′-TDE and methoxychlor.

Chlorobenzenes

Measurements of chlorobenzene concentrations in suspended sediments during 1980 (Table 10) support the work of Oliver and Nicol (1982), suggesting that Lake Ontario is a sink for the chlorobenzene compounds being discharged to the Niagara River. Each isomer of chlorobenzene occurred in more than 70% of the suspended sediment samples collected. It is particularly noteworthy that the isomer which has the widest usage, i.e., 1,4-dichlorobenzene, is also the most abundant in these samples as well as in the bottom sediments of Lake Ontario (Oliver

Table 9. Organochlorine Concentrations (ng g^{-1}) in Suspended Sediments at Niagara-on-the-Lake, 1979–81

Parameter (70 samples)	Confirmed detections			
	Percent	Median	Mean	S.D.
Total PCBs	100	500	718	597
HCB	100	49	124	320
p,p′-DDE	92	18	23	23
p,p′-DDT	86	6	11	12
Mirex	76	5	12	32
α-BHC	75	4	12	23
Dieldrin	80	4	4	3
γ-Chlordane	79	2	6	9
p,p′-TDE	62	2	4	5
p,p′-Methoxychlor	51	1	7	14
α-Chlordane	67	1	3	4
Heptachlor epoxide	37	<1	1	2
α-Endosulfan	36	<1	4	17
γ-BHC	33	<1	2	4
o,p-DDT	30	<1	6	14
Heptachlor	8	<1	1	3
Aldrin	7	<1	2	8
β-Endosulfan	4	<1	<1	–
Endrin	1	<1	<1	–

Source: Kuntz and Warry (1983).

Table 10. Chlorobenzene concentrations (ng g^{-1}) Dry Weight in Suspended Sediments at Niagara-on-the-Lake, 1980

Parameter (28 samples)	Percent of time detected	Mean	S.D.	Lake Ontario sediments* (range)
1,2-Di	71	148	139	4–27
1,4-Di	68	180	198	22–210
1,3-Di	71	95	116	15–250
1,3,5-Tri	93	20	13	7–250
1,2,4-Tri	100	61	42	20–220
1,2,3-Tri	86	19	18	1–16
1,2,4,5 + 1,2,3,5-Tetra	86	28	23	7–173
1,2,3,4-Tetra	96	71	52	4–86
Penta	96	58	44	3–84
Hexa	100	94	88	9–320

*Data from Oliver and Nicol (1982).

and Nicol, 1982). Some other isomers occurring at high concentrations were 1,2- and 1,3-dichloro; 1,2,4-trichloro; 1,2,3,4-tetrachloro; pentachloro; and hexachloro. These data indicate that the dichloro isomers occurred at highest concentration in suspended sediments, but hexachlorobenzene occurred in 100% of the samples.

Other Organic Contaminants: PAHs and Phthalates

Some other non-standard organic analyses have been completed on suspended sediment samples from Niagara-on-the-Lake including phthalates and polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH). These data are summarized in Table 11. Some of the phthalates, particularly bis-(2-ethylhexyl) and di-*n*-octyl phthalates, occurred at levels of up to 107×10^3 ng g^{-1}. The PAHs occurring at levels up to 20×10^3 ng g^{-1} were chrysene/benzanthracene and benzo (A) pyrene.

Table 11. Phthalates and PAH Concentrations (ng g^{-1}) in Suspended Sediments of the Niagara River at Niagara-on-the-Lake

Parameter	Concentration range (ng g^{-1})
Phthalates	
Dimethyl	ND
Diethyl	ND
Di-*n*-butyl	70–1 000
Butyl-benzyl	TR
Bis-(2-ethylhexyl)	1700–107 000
Di-*n*-octyl	100–19 650
PAHs	
Naphthalene	ND–1 500
Acenaphthylene	TR–16
Acenaphthene	TR–38
2-Chloronaphthalene	ND
Fluorene	TR–42
Anthracene/phenanthrene	TR–4 000
Fluoranthene	120–4 000
Pyrene	TR–4 000
Chrysene/benzanthracene	TR–20 000
Benzo (B) and (K) fluoranthene	190–1 008
Benzo (A) pyrene	190–20 000

ND – Not detected.
TR – Trace quantity.

SUMMARY

Weekly sampling of trace metals in unfiltered water at Niagara-on-the-Lake since 1975 has shown steady increases in both iron and aluminum concentrations and loadings until 1981, when a decrease occurred. These increases are believed to be caused by wind-induced resuspension or erosion of sediments in the eastern basin of Lake Erie or the river itself during this period.

Violations to 1978 Water Quality Agreement objectives were most numerous for iron, copper and cadmium.

Of the 19 organochlorine compounds routinely measured in ambient waters at Niagara-on-the-Lake, eight were detected in more than 50% of the samples collected and three (i.e., total PCBs, and α- and γ-BHC) were detected at median concentrations greater than 1 ng L^{-1}.

Mean concentrations of cadmium, lead, copper, zinc, nickel and chromium in suspended sediments collected at Niagara-on-the-Lake consistently exceeded MOE dredge spoil criteria.

Suspended sediments account for about 70% of the total metals load of the Niagara River to Lake Ontario for chromium and nickel and nearly 100% of the total load for lead, iron and zinc.

Of the 19 organochlorine compounds measured in suspended sediments collected at Niagara-on-the-Lake, 11 occurred in more than 50% of the samples collected, and total PCBs, HCB and p,p'-DDE occurred at median concentrations above 10 ng g^{-1}.

Of the 11 chlorobenzenes measured in suspended sediments at Niagara-on-the-Lake, the compound with the widest usage (i.e., 1,4-dichlorobenzene) (Oliver and Nicol, 1982) was also the most abundant in the suspended sediments.

Higher PCB loadings to Lake Ontario than previously reported have been calculated from Niagara-on-the-Lake input data. Mirex and total DDT loadings remain about the same as previously reported by Frank *et al.* (1979).

Percentage of organochlorine loadings to Lake Ontario by suspended sediments is lower than previously believed. Sediment contributions are above 40% for total DDT (mostly DDE), HCB, total PCBs and mirex. Therefore for accurate total loading estimates, the water fraction must be analyzed and detection limits must be very low.

Distribution throughout the Niagara River System

AMBIENT WATER

Trace Metals in Ambient Water

During four surveys on the upper Niagara River in 1975, extractable filtered and unfiltered total trace metals were analyzed. In 1979, total unfiltered trace metal analyses were completed on six surveys of the upper Niagara River. Station locations are shown in Figure 2 at the end of the chapter and station descriptions are given in Table 12. Data are summarized in Table 13. Values of zero were used in mean calculations for sample results below the detection limit.

Data for both 1975 and 1979 indicated that values of arsenic and selenium in unfiltered water samples, extractable Hg, Cd, Cr, Pb, Cu, Mn, Zn and Ni as well as total Cd, Cu, Cr, Pb, As and Ni were at or near the detection limits of the analytical methods. In 1975, mercury and extractable chromium were never detected. Extractable filtered iron values were much lower than total iron, indicating that a large percentage of the iron present is in particulate form. These data indicated that iron concentrations were significantly higher in 1979 than in 1975. They also indicated that cross-stream differences in total iron (Fig. 3), total manganese and total zinc concentrations were significant at the 95% confidence level (Kuntz and Chan, 1982).

Table 12. Sampling Locations in the Upper Niagara River, 1975 and 1979

Range	Station	Distance from left bank looking downstream (m)	Landmark
19.5 E	A	170	Upstream from North Grand Island Bridge
width 1160 m	B	425	
	C	700	
	D	975	
23.3 E	A	180	By Stoney Point Road, Grand Island, N.Y.
width 760 m	B	325	
	C	490	
	D	640	
20.5 W	A	150	600 m upstream from Navy Island
width 760 m	B	300	
	C	450	
	D	670	
31.0 E	A	150	By Blue Water Marina, Grand Island, N.Y.
width 760 m	B	300	
	C	450	
	D	600	
26.7 W	A	135	1830 m downstream from Niagara Parks
width 670 m	B	270	Commission Marina
	C	400	
	D	540	
36.0	A	150	Under tower transmission line downstream
width 790 m	B	300	from Peace Bridge, Fort Erie
	C	450	
	D	600	

Table 13. Mean Trace Metal Concentrations (mg L^{-1}) in the Upper Niagara River, 1975 and 1979

Parameter	1975 No. of observations	1975 Mean	1979 No. of observations	1979 Mean
As, unfiltered	81	0.000 4 (81)*	94	0.000 4 (94)
Se, unfiltered	81	0.000 1 (73)	95	0.000 1 (65)
Hg, extractable	81	<0.000 05 (0)	144	0.000 01 (21)
Cd, total	81	<0.001 (2)	165	<0.001 (4)
Cr, total	81	0.001 (44)	164	0.001 (63)
Cu, total	80	0.003 (80)	142	0.003 (138)
Fe, total	81	0.216 (81)	165	0.343 (165)
Pb, total	81	0.002 (71)	168	0.001 (129)
Mn, total	81	0.010 (69)	144	0.008 (143)
Ni, total	81	0.002 (81)	167	0.003 (152)
Zn, total	81	0.004 (81)	168	0.006 (149)
Al, extractable, filtered	81	0.007 (77)		
Al, extractable, unfiltered	81	0.087 (81)		
Cd, extractable, filtered	81	<0.001 (3)		
Cr, extractable, filtered	81	<0.001 (0)		
Cu, extractable, filtered	80	0.002 (80)		
Fe, extractable, filtered	81	0.005 (81)		
Pb, extractable, filtered	81	<0.001 (28)		
Mn, extractable, filtered	81	<0.001 (14)		
Ni, extractable, filtered	81	0.001 (60)		
Zn, extractable, filtered	60	0.002 (70)		

*Number of samples above detection limits are given in parentheses.
Note: Detection limit values entered as zero for mean calculations.

A summary of percentage violations of the 1978 GLWQA specific objectives is given in Table 14. Data indicate that violations occurred infrequently except for iron. Violations for total iron occurred 24% of the time in 1979, half of which were accounted for by the last survey in December. All 24 samples collected during this survey were above the 1978 GLWQA specific objective of 0.300 mg L^{-1} for total iron. These high values are attributed to high winds measured in this area and in eastern Lake Erie during the three days previous to the survey. This conclusion is substantiated by the large increases in turbidity, total iron, fecal coliform, total phosphorus and several other parameter concentrations relative to previous surveys. Average daily wind speeds for the three days previous to and during the survey, as measured at Buffalo by the National Oceanic and Atmospheric Administration, ranged from 26.4 to 34.0 km h^{-1}. These high winds resulted in elevated suspended sediment loading to the river because of increased shore erosion and sediment resuspension in the eastern basin of Lake Erie. Figure 4 shows some of the changes that occurred at station 20.5A during this December 1979 survey (Kuntz and Chan, 1982).

Table 14. Percent of Total Trace Metal Values Exceeding IJC Objectives in 1975 and 1979 in the Upper Niagara River

Parameter	IJC objectives (mg L^{-1})	1975 (%)	1979 (%)
Cd	0.0002	2*	2*
Cu	0.005	2	7
Fe	0.300	22	24 (12)†
Pb	0.025	0	0
Zn	0.030	0	1

*Detection limit of analytical method above IJC objective.
†Last survey data eliminated.

During May 1981, a survey of trace metals in ambient water of both the upper and lower Niagara River was completed. Unfiltered water from 25 stations at locations shown in Figure 5 was sampled for total iron, cadmium, copper, lead, manganese, nickel, zinc, cobalt and chromium as well as extractable aluminum.

Data indicate that several areas of concern exist (Figs. 6 to 12) where violations to the 1978 GLWQA have occurred. Metal concentrations are generally higher in the surface waters of the Tonawanda Channel than in the Chippawa Channel, particularly iron, zinc, copper and aluminum. Violations to the 1978 GLWQA have occurred for iron (8), zinc (1), copper (14), aluminum (1)[1] and cadmium (1). A sample collected at station 38.5, located in the Buffalo River, contained elevated iron, lead and manganese concentrations. Station 34.6B is located just downstream from two Buffalo Sewer Authority outfalls. This may explain the high zinc, copper, nickel, cadmium and manganese concentrations observed at this station.

[1]MOE objective of 100 μg L^{-1} for protection of aquatic life.

Table 15. Organic Contaminant Concentrations ($\mu g\ L^{-1}$) in the Upper Niagara River, 1979

Parameter	Detection limit (μg/L)	Frequency of detection (%)	1978 GLWQA objective (μg/L)	Contraventions of GLWQA objectives (%)	Mean value ($\mu g\ L^{-1}$)
α-BHC	0.001	100	–	–	0.007
Cyanide	1.0	90	–	–	0.002
γ-BHC (lindane)	0.001	84	0.010	0	0.001
Dieldrin	0.001	32	0.001	0	<0.001
PCBs	0.020	19	–	–	0.005
Phenol	1.0	9	1.0	4	<0.001
p,p′-DDE	0.001	6	–	–	<0.001
Hexachlorobenzene	0.001	3	–	–	<0.001
β-Endosulfan	0.01	3	–	–	<0.001
p,p′-DDT	0.001	1	0.003	0	<0.001

Note: Detection limit values entered as zero for mean calculations.

Station 34.6C was located in the Black Rock Canal, by Scajaquada Creek. Elevated levels of chromium, lead and nickel were observed at this station. A high nickel concentration was also observed at station 19.4 by the north end of Grand Island (16 $\mu g\ L^{-1}$). No reason for this anomaly can be given at this time.

Organic Contaminants in Ambient Waters (Total Water)

Analyses for an extensive list of organic contaminants were conducted on samples collected at selected stations on ranges in the upper Niagara River in 1975 (Fig. 2). Detection limits of analytical methods, however, were not low enough to enable detection of many of the compounds sought. Only phenols (9% incidence) and cyanides (100%) were detected in the upper Niagara River. However, detection limits have been reduced significantly since then. As a result, considerably more compounds were detected in 1979 (Table 15). As in 1975, phenols were sometimes detected and cyanides were nearly always detected. Also, γ-BHC in the range from 0.005 to 0.007 mg L^{-1} was always detected. Other organic contaminants detected in order of their decreasing frequency of detection were γ-BHC (lindane), dieldrin, PCBs, p,p′-DDE, hexachlorobenzene, β-endosulfan, and p,p′-DDT. Other compounds analyzed for but never detected were heptachlor, aldrin, heptachlor epoxide, α- and γ-chlordane, α-endosulfan, endrin, o,p-DDT, p,p′-TDE, mirex and p,p′-methoxychlor. The data for 1979 represent a total of 72 samples collected, 12 per range. Table 15 summarizes the detection limit, frequency of detection, 1978 Agreement specific objective, percentage of time above Agreement specific objectives and mean value for those parameters detected during 1979 surveys. Only phenols were observed to be above the 1978 Agreement specific objective (4% of the time). It should be noted that many of these contaminants do not have Agreement specific objectives.

Two toxic contaminant surveys were completed at five stations in both the upper and lower sections of the Niagara River in 1981 (shown in Fig. 13). Fifteen 4-L total water samples (including suspended materials) were collected for organic contaminants analysis during the July survey and nine during the October–November survey. A total of 19 organochlorine pesticides and PCBs and 11 chlorobenzenes were investigated.

Several of these compounds were never detected, including heptachlor, heptachlor epoxide, aldrin, γ-chlordane, α-endosulfan and o,p-DDT. Also, p,p′-DDE was not detected in the July survey and γ-BHC, α-chlordane,

Table 16. Organic Contaminants ($ng\ L^{-1}$) in Total Water Samples of the Niagara River, 1981

Parameter (15 samples)	Percent of time detected	Range of values	Mean
α-BHC	93	DL–8.2	5.0
Dieldrin	93	DL–4.6	0.6
Total PCBs	73	DL–52.0	13.5
p,p′-DDE	60	DL–0.5	0.2
p,p′-DDT	60	DL–0.6	0.2
γ-BHC	33	DL–8.2	0.2
α-Chlordane	13	DL–0.3	<0.1
Mirex	13	DL–0.1	<0.1
Endrin	7	DL–0.2	<0.1
p,p′-TDE	7	DL–0.1	<0.1
Methoxychlor	7	DL–1.0	<0.1
Chlorobenzenes			
Di	80	DL–40.0	16.7
Tetra	67	DL–4.0	1.4
Tri	60	DL–4.0	1.9
Penta	13	DL–1.0	<0.1

DL – Detection limit.

endrin and p,p'-TDE were not detected in the October-November survey. In addition, HCB, endrin, p,p'-TDE, p,p'-DDT and α-chlordane were detected only once or twice during the July survey. Of the remaining compounds, only α-BHC and total PCBs were detected at mean values above 1 ng L^{-1} in more than 50% of the samples (Table 16). Also dichloro, trichloro and tetrachlorobenzenes were detected in more than 50% of the water samples collected at levels above 1 ng L^{-1}.

Organic Contaminants in Ambient Waters (Aqueous Fraction – APLE Samples)

As part of the toxic contaminant surveys of 1981 in the upper and lower Niagara River, large-volume (200 L) water samples were collected after the suspended sediment was removed with a Westfalia centrifuge. The remaining aqueous fraction was extracted for 2 h with dichloromethane, which was permitted to settle for 2 h before collection from a bottom drain in the sampler. This method of extracting organics from water samples using an Aqueous Phase Liquid-Liquid Extractor (APLE) is described by McCrea (1982). In this sampler, all material in contact with the water is either Teflon or stainless steel.

The large-volume analysis technique used for these analyses is still mainly a research tool. Extensive quality assurance has been performed by the laboratory to aid the development of this technique. Spike recovery data have been completed for the pesticides and PCBs and are in the order of 80% to 90% recovery. Nevertheless, any data generated must be viewed as resulting from the use of a new analytical scheme not yet proven to provide accurate information, particularly for chlorobenzenes.

It was expected that large seasonal and spatial variation could occur within the Niagara River system, and consequently three surveys were undertaken in May, July and October-November at five stations in the upper and lower Niagara River. These stations were sampled at the midstream locations shown in Figure 13.

Discussion of Parameters Measured

BHC Isomers (Alpha and Gamma)

Levels of the degradation product, α-BHC, were generally three to four times higher than those of the parent isomer (γ-BHC) in the aqueous fraction of Niagara River water (Figs. 14 and 15). Although no obvious seasonal distribution was observed, there was considerable spatial variation. Values in the lower Niagara River, particularly at station 1.5 at Niagara-on-the-Lake, were 2.9 and 1.9 times greater, for γ- and α-BHC, respectively, than those observed at the Fort Erie end of the upper Niagara River, indicating that considerable amounts of these contaminants are being introduced to the river.

Heptachlor and Heptachlor Epoxide

No heptachlor was found in any of the 22 samples analyzed. Since this compound is rapidly hydrolyzed in water (half-life is one to three days) and is also biotransformed to heptachlor epoxide (U.S. EPA, 1979), it is not likely to be present in the aqueous fraction of water samples.

Heptachlor epoxide, with a half-life of several years (U.S. EPA, 1979), is considerably more resistant to chemical and biological transformation than heptachlor in aquatic environments, resulting in its appearance in greater concentrations in the aqueous fraction of the Niagara River. Seasonal and station distributions shown in Figure 16 indicate very low levels during the October-November survey at all five stations, while other surveys showed higher levels in July and May. These data also indicate that considerable heptachlor epoxide is being added to the river system between Fort Erie and Niagara-on-the-Lake. Mean concentrations at Niagara-on-the-Lake were 24 times higher than those observed at Fort Erie.

Chlordane Isomers (Alpha and Gamma)

Alpha-chlordane was detected in three of six samples during the May 1981 survey and seven of eight samples during the July 1981 survey at levels up to 10 ng 200 L^{-1} in the aqueous fraction of Niagara River water. There is some indication of a possible seasonal cycle for α-chlordane, since it was not detected during the October-November survey.

No γ-chlordane was found in either the May or October-November surveys. Levels up to 3 ng 200 L^{-1} were found in seven of the eight samples collected during the July survey.

Endosulfan Isomers (Alpha and Beta)

Values of α-endosulfan ranged up to 19 ng 200 L^{-1} in the aqueous fraction of Niagara River water. This isomer was detected in 10 of the 22 samples analyzed. It also occurred at values ten times as large at Niagara-on-the-Lake as at Fort Erie (Table 17), indicating inputs to the river system. None of the β-isomer was detected in these samples.

Table 17. Distribution of Chlorinated Organics (ng 200 L^{-1}) in the Aqueous Fraction* of the Niagara River, 1981 (as station mean values)

Parameter	Station number					Ratio§
	1.5†	6.8	20.5	19.3	37.7‡	
Heptachlor epoxide	24	ND	16	14	1	24.0
α-Endosulfan	10	ND	1	4	1	10.0
Total PCBs	161	136	37	54	52	3.1
p,p'-DDE	3	4	1	2	ND	3.0
γ-BHC	299	146	135	117	118	2.5
Endrin	4	4	4	1	2	2.0
α-BHC	1107	555	636	878	578	1.9
p,p'-DDT	4	4	8	3	3	1.3
Total DDT	29	16	23	12	22	1.3
p,p'-TDE	22	8	14	7	18	1.2
Dieldrin	53	38	46	36	51	1.0
α-Chlordane	4	ND	2	1	4	1.0

* Sample is taken from Westfalia centrifuge outflow and extracted in APLE sampler with dichloromethane.
† Niagara-on-the-Lake.
‡ Fort Erie.
§ Ratio Niagara-on-the-Lake to Fort Erie.
ND – Not detected.

Aldrin, Dieldrin and Endrin

Aldrin was not detected in the aqueous fraction of the Niagara River during these 1981 surveys. This is not surprising, since aldrin is volatilized in a few days and is also biotransformed to dieldrin in about one day (U.S. EPA, 1979).

Endrin occurred at levels of about 1-10 ng 200 L^{-1} in these samples. It was observed in 16 of the 22 samples collected, and values at Niagara-on-the-Lake were about twice as high as at Fort Erie. Seasonal distributions shown in Figure 17, indicate low spring values and much higher summer values.

Dieldrin, the most commonly occurring of these three compounds, occurred in all 22 samples collected. This compound is non-biodegradable and is reported to be more persistent than DDT, endrin or aldrin (U.S. EPA, 1979). Therefore, it is not surprising that it occurs more frequently and at higher concentrations (3-81 ng 200 L^{-1}) in the aqueous fraction of Niagara River water. This compound also appears to show relatively even distribution throughout the river system (Fig. 18), indicating that most of the dieldrin in the Niagara River is input from Lake Erie.

DDT and its Metabolites

Technical grade DDT consists of 70% to 73% p,p'-DDT and 12% to 21% o,p-DDT (U.S. EPA, 1979). Perhaps the lower levels of o,p-DDT in the original product can account for its disappearance in the aqueous phase of the Niagara River. It was not observed in any of the 22 samples collected in the Niagara River during these 1981 surveys.

Parent DDT (p,p'-DDT) was found in 12 of the 22 samples analyzed. Seasonal distributions, as shown in Figure 19, indicate that higher values were observed in May and particularly in July, but no p,p'-DDT was observed during the October-November survey. Warry and Chan (1981) observed similar high spring concentrations in the suspended sediments collected at Niagara-on-the-Lake. The persistence of this compound (half-life of 4-150 years) (U.S. EPA, 1979) may explain its common occurrence at levels of between 2 and 24 ng 200 L^{-1} in the aqueous phase. It was also observed to be present at Niagara-on-the-Lake in concentrations about 1.3 times that of Fort Erie (Table 17).

The p,p'-DDE was detected at levels between 0.5 and 7.2 ng 200 L^{-1} in 16 of 22 samples analyzed. Since it is a degradation product of DDT and is more stable than either DDT or TDE (DDD) (U.S. EPA, 1979), it is found frequently in the aqueous fraction in the Niagara River. Seasonal and spatial variabilities shown in Figure 20 indicate levels three times higher at Niagara-on-the-Lake than at Fort Erie during the May survey (Table 17).

The p,p'-TDE (DDD) was detected in 12 of 22 samples at levels between 5 and 62 ng 200 L^{-1}. Although no p,p'-TDE was detected during the May survey, high levels were detected during the July survey followed by low levels during the October-November survey at all stations except 1.5 at Niagara-on-the-Lake (Fig. 21). Concentrations of p,p'-TDE at Niagara-on-the-Lake are about 1.2 times greater than at Fort Erie (Table 17).

Seasonal and spatial distributions of total DDT shown in Figure 22 indicate that concentrations were high throughout the entire Niagara River in July. Observed concentrations on the October-November survey dropped at every station except 1.5 at Niagara-on-the-Lake. Again, concentrations of total DDT at Niagara-on-the-Lake are about 1.2 times greater than at Fort Erie.

Mirex

Mirex was observed in the aqueous fraction of only 6 of 22 samples collected in the Niagara River at levels of between 0.1 and 1.5 ng 200 L^{-1} during July and October-November surveys. During the May survey, mirex was not observed at any of the five stations sampled.

Methoxychlor

Methoxychlor was detected in only one of the 22 samples collected.

Total PCBs

Total PCBs were detected in 20 of 22 samples collected. Concentrations ranged from 19 to 274 ng 200 L^{-1}. While no seasonal distribution was present, concentrations in the lower Niagara River were 3.1 times higher at Niagara-on-the-Lake than at Fort Erie (Table 17, Fig. 23).

BOTTOM SEDIMENTS

Trace Metals in Bottom Sediments

In May 1981, bottom sediment samples were collected at 16 stations in the upper and lower Niagara River. Attempts to collect samples at 17 more stations failed owing to the gravel or firm glacial-lacustrine bottom types present at these stations (Fig. 30).

Sampling Methods

Bottom sediment samples were collected at the station locations identified in Figure 24 using a USBM-54 sampler shown in Figure 25. This sampler is equipped with tail fins to maintain its position in the current. When supported by a cable or rope, the sampler is set in the open position for taking a bed sample. When tension on the cable is released by resting the sampler on the stream bed, about the top inch (2.54 cm) of sediment is collected. The bucket surrounds and encloses the sample so that it is not washed out when the sampler is raised to the water surface.

Descriptions of the bottom sediments collected are given in Tables 18 and 19. Metals were analyzed according to methods contained in the *Analytical Methods Manual* (Environment Canada, 1979), and concentration distributions are given for each of the following:

(1) Total (arsenic, selenium, mercury)

(2) Extractable using 0.5 *N* HCl (cadmium, lead, cobalt, copper, zinc, nickel, chromium)

(3) Particulate organic carbon and particulate nitrogen.

In addition, particle size distribution, i.e., percent gravel (>8000 μm), percent sand (63-8000 μm) and percent silt and clay (<63 μm), was completed and volatile solids were determined on each of these samples. A summary of these data is given in Table 20 and distributions are shown in Figures 26, 27 and 28.

Table 18. Lower Niagara River Bottom Sediment Description

Station	Date	Distance from shore (m)	Sediment description
6.8A	May 6	Mid-channel	No sediments (gravel)
6.8B	May 6	30	Sand and gravel
6.3	May 6	15	Sand and gravel
5.6	May 7	15	No sediments (rocks)
4.8	May 6	30	Sandy
3.7	May 6	15	No sediments
2.8	May 7	30	Sand and gravel
1.5	May 8	Mid-channel	No sediments

Table 19. Upper Niagara River Bottom Sediment Description

Station	Date	Distance from shore (m)	Sediment description
38.5 Buffalo River	May 6	Mid-channel	Black silty clay
37.7	May 9	Mid-channel	No sediments (rocks)
36.2A	May 9	30	No sediments
36.2B	May 9	15	No sediments
34.6A	May 9	7	No sediments
34.6B	May 9	7	No sediments
34.6C	May 9	7	Black silty clay, oily
32.9C	May 8	15	Sand and silty clay
32.9B	May 8	15	Sand and silty clay
31.3	May 8	Mid-channel	No sediments
27.2	May 8	15	Clay, silt and sand
24.5	May 8	15	Clay
20.5	May 8	Mid-channel	No sediments (rocks)
19.4	May 8	30	No sediments (rocks)
18.0	May 8	15	No sediments (rocks)
31.4	May 8	Mid-channel	No sediments
29.8	May 8	15	Sand and silty clay
27.3	May 8	15	Sand and silty clay
25.4	May 8	Mid-channel	Sand and silty clay
23.3	May 8	15	Sand and pebbles
21.4	May 8	Mid-channel	Sand and silty clay
20.1	May 8	Mid-channel	Black silty clay
19.3	May 8	Mid-channel	No sediments (gravel)
18.9	May 8	15	No sediments (rocks)
17.6	May 8	15	No sediments (rocks)

Cadmium

In general, higher cadmium concentrations were found along the United States portion of the river from the Buffalo River to the Love Canal area. Exceptionally high values were found in the Black Rock Canal by Scajaquada Creek, in the Buffalo River, by Two Mile Creek, near the Love Canal and at one station in the lower Niagara (Fig. 29). All of these sites except that on the lower Niagara indicate that possible sources of cadmium may be present

Table 20. Bottom Sediment Characteristics in the Niagara River, May 1981

Station	Percent gravel (>8000 μm)	Percent sand (63–8000 μm)	Percent silt and clay (<63 μm)	Percent volatile solids
2.8	2.3	84.3	13.4	1.23
4.8	0.0	97.1	2.8	0.58
6.3	0.0	67.6	32.4	1.99
6.8B	0.0	96.4	3.6	1.03
20.1	0.0	52.3	47.7	6.37
21.4	9.8	88.3	1.9	1.11
23.3	7.8	46.8	45.3	2.47
24.5	0.0	11.7	88.3	3.83
25.4	0.0	95.2	4.8	1.86
27.2	0.0	76.5	23.5	2.76
27.3	2.4	95.9	1.7	2.49
29.8	6.4	87.2	6.3	4.57
32.9A	0.0	85.3	14.7	1.94
32.9B	0.0	53.4	46.6	5.43
34.6C	0.0	38.6	61.4	12.40
38.5 Buffalo River	7.3	24.7	68.0	5.60

in these areas. Many of these high values were above the MOE objective of 1000 $\mu g\ kg^{-1}$.

Chromium

Chromium values in the bottom sediments of the Niagara River were generally below the MOE objective of 25 mg kg^{-1} except in the Black Rock Canal and downstream thereof, near the Love Canal and by Two Mile Creek (Fig. 30).

Cobalt

All cobalt values ranged from 1 to 5 mg kg^{-1} in the bottom sediments of the Niagara River and were never above the MOE objective of 50 mg kg^{-1} (Fig. 31).

Copper

Violations of the MOE objective of 25 mg kg^{-1} occurred at several locations, nearly all of which were on the United States side of the river. Most elevated values were observed in the Black Rock Canal and downstream thereof, in the Buffalo River, by Two Mile Creek, near the Love Canal and in the lower Niagara River (Fig. 32).

Lead

Violations of the MOE objective of 50 mg kg^{-1} occurred at most stations along the United States side of the river from the Buffalo River to the Love Canal area. Highest values were observed in the Black Rock Canal off Scajaquada Creek and downstream from the canal (Fig. 33).

Nickel

Violations of the MOE objective of 25 mg kg^{-1} occurred at only one station in the Black Rock Canal near Scajaquada Creek (Fig. 34).

Zinc

Violations of the MOE objective of 100 mg kg^{-1} occurred at several stations along the United States side of the river from the Buffalo River to the Love Canal area. The highest values were found in the Black Rock Canal, in the Love Canal area and at one station in the lower Niagara (Fig. 35).

Total Mercury

Very high mercury concentrations (over ten times higher than on the Canadian side) were observed at nearly every station along the United States shore from the Buffalo River to the Love Canal area (Fig. 36). Values over 1000 $\mu g\ kg^{-1}$ were observed in the Black Rock Canal by Scajaquada Creek, downstream from the Black Rock Canal, and near the Love Canal. Elevated values were also observed in the lower Niagara River relative to the Chippawa Channel of the upper Niagara River. Violations of the MOE objective of 300 $\mu g\ kg^{-1}$ were observed at several stations including the Buffalo River, the Black Rock Canal and downstream thereof, and near the Love Canal.

Total Arsenic

Levels of total arsenic were generally below the MOE objective of 8 mg kg^{-1} except the Buffalo River, in the Black Rock Canal and downstream from the Black Rock Canal (Fig. 37).

Total Selenium

Total selenium values were evenly distributed with values below 500 $\mu g\ kg^{-1}$ throughout the Niagara River system. Somewhat elevated values were found near the Love Canal and at one station in the lower Niagara (Fig. 38).

Organic Carbon

Values of organic carbon ranged from 1% to 4% in the bottom sediments with a high of 6% observed in the Black Rock Canal by Scajaquada Creek. This corresponds to a percent loss on ignition of 10%. This value exceeds the MOE limit of 6% for percent loss on ignition (Fig. 39).

Organic Nitrogen

Organic nitrogen values were usually below 100 $mg\ kg^{-1}$ except for stations in the Buffalo River, the Black Rock Canal, by Frenchman's Creek and near the Love Canal (Fig. 40).

Interrelationships between Metals and Sediment Characteristics in Niagara River Bottom Sediments

In addition to metals analysis, these bottom sediment samples were also analyzed for particle size and percentage of volatile solids. Using a Pearson correlation calculation, data shown in Table 21a indicate that percentage of clay and silt was significantly related to percentage of volatile solids at the 90% confidence level. Copper and nickel concentrations were also related to percent volatile solids at the 90% confidence level. Copper was also correlated with chromium, lead, nickel and zinc at the 90% confidence level. However, the copper-nickel relationship was found to be a spurious correlation when the partial correlations were calculated. Therefore, the volatile solids account for this relationship and copper and nickel are not in themselves significantly correlated. In addition, lead and zinc were also correlated at the 90% confidence level. These data imply that several of the metals are derived from similar sources. The fact that the percentage of clay and silt does not correlate well with any of the metals indicates that the metal concentrations are not dependent on sedi-

Table 21a. Correlation Matrix Showing Degree of Relationship between Variables Including Trace Metals in Bottom Sediments of the Niagara River, May 1981

Parameter	Percent sand	Percent clay and silt	Percent volatile solids	Cadmium	Chromium	Copper	Lead	Nickel	Zinc	Mercury	Selenium
Sand (%)	1.000										
Clay and silt (%)	-0.679*	1.000									
Volatile solids (%)	-0.343	0.646	1.000								
Cadmium	0.610	-0.511	-0.487	1.000							
Chromium	0.198	0.024	0.404	-0.456	1.000						
Copper	0.051	0.161	0.626	-0.522	0.658	1.000					
Lead	0.227	-0.010	0.400	-0.206	0.408	0.622	1.000				
Nickel	-0.009	0.342	0.886	-0.419	0.541	0.755†	0.607	1.000			
Zinc	0.327	-0.081	0.211	0.019	0.341	0.651	0.706	0.386	1.000		
Mercury	0.443	-0.142	0.156	0.045	0.601	0.271	0.409	0.242	0.257	1.000	
Selenium	0.065	0.237	0.371	-0.212	0.187	0.324	0.121	0.490	0.044	0.194	1.000

*Underlined values are significant at the 90% confidence level.
†Spurious correlation which was not correlated when partial correlation was calculated.

Table 21b. Correlation Matrix Showing Degree of Relationship between Variables Including Organic Contaminants in Bottom Sediments of the Niagara River, May 1981

Parameter	Percent sand	Percent clay and silt	Percent volatile solids	α-BHC	p,p'-DDE	p,p'-TDE	Methoxychlor	Total PCBs	Dichlorobenzenes
Sand (%)	1.000								
Clay and silt (%)	-0.679*	1.000							
Volatile solids (%)	-0.343	0.646	1.000						
α-BHC	-0.088	0.187	0.266	1.000					
p,p'-DDE	0.178	-0.081	0.170	-0.083	1.000				
p,p'-TDE	0.274	-0.205	0.046	-0.110	0.054	1.000			
Methoxychlor	0.024	0.112	0.134	-0.123	0.035	-0.001	1.000		
Total PCBs	-0.019	0.194	-0.031	0.070	-0.340	0.021	-0.005	1.000	
Dichlorobenzenes	0.097	0.215	0.167	-0.090	-0.051	0.115	-0.168	0.307	1.000

*Underlined values are significant at the 90% confidence level.

ment adsorptive capacity or size but are probably more dependent on location of sources and also on river velocity in the area of their deposition. If the river velocity is higher, the fine particles will be washed away and the metals will be carried away as well. The percentage of volatile solids correlated slightly better with a few metals, namely copper and nickel, and probably indicates that volatile solids are associated with other contaminant inputs as well as metals.

Organic Contaminants in Bottom Sediments

BHC Isomers (Alpha and Gamma)

Levels of α-BHC (a breakdown product of lindane) were generally at or near the detection limit except for stations in the Black Rock Canal (32 $\mu g\ kg^{-1}$), near the Love Canal (2260 $\mu g\ kg^{-1}$) and in the lower Niagara River (151 $\mu g\ kg^{-1}$). Lindane (γ-BHC) was found in highest concentrations near the Love Canal (21 $\mu g\ kg^{-1}$) and the lower Niagara River (87 $\mu g\ kg^{-1}$) (Figs. 41 and 42).

Heptachlor and Heptachlor Epoxide

Heptachlor epoxide was identified in only 4 of the 16 samples collected. Of these, highest values were observed in the Buffalo River (8 $\mu g\ kg^{-1}$), near the Love Canal (10 $\mu g\ kg^{-1}$) and by Two Mile Creek (19 $\mu g\ kg^{-1}$). No heptachlor was detected at any of the 16 stations sampled (Fig. 43).

Chlordane Isomers (Alpha and Gamma)

Alpha-chlordane was detected at only 4 of the 16 stations sampled. All but one of these stations, i.e., 34.6C in the Black Rock Canal, where a value of 49 $\mu g\ kg^{-1}$ was measured, were below 7 $\mu g\ kg^{-1}$ (Fig. 44).

Gamma-chlordane was detected at only two locations. Once again the Black Rock Canal station (34.6C) was high, with 94 $\mu g\ kg^{-1}$. The other station (25.4), located between Tonawanda Island and the United States mainland, had a value of 20 $\mu g\ kg^{-1}$, indicating a source from Ellicot Creek or the Erie Canal (Fig. 45).

Endosulfan Isomers (Alpha and Beta)

Values of α-endosulfan were generally low except for the Buffalo River, the Black Rock Canal and downstream from the Black Rock Canal (Fig. 46).

Values of β-endosulfan were low throughout the entire river system except near the Love Canal where a value of 28 $\mu g\ kg^{-1}$ was observed (Fig. 47).

DDT and its Metabolites

Parent DDT, or p,p′-DDT, was found in 5 of the 16 stations sampled (Fig. 48). Since use of this compound was banned in Canada in 1972, it is puzzling to see its persistence in sediments near Frenchman's and Miller creeks on the Canadian side. Either this compound is still being used illegally or it is undegraded in the sediments nearly nine years after its use. Even higher values were observed on the United States side downstream from the Black Rock Canal and some p,p′-DDT was observed in the Buffalo River.

Low levels of p,p′-DDE were observed at many stations throughout the Niagara River (Fig. 49). High values were observed in the Black Rock Canal and downstream from it and between Tonawanda Island and the United States mainland, indicating a source from Ellicot Creek or the Erie Canal.

Generally, values of p,p′-TDE were low throughout the river system (Fig. 50). However, somewhat elevated levels were observed along the United States mainland side of the river and the Tonawanda Channel, particularly near Two Mile Creek.

The o,p-DDT metabolite was not found at any of the 16 stations sampled.

Aldrin, Dieldrin and Endrin

No aldrin was detected at any of the 16 stations sampled.

Dieldrin was detected in only two of the samples collected near the Love Canal and between Tonawanda Island and the United States shore (Fig. 51).

Endrin was detected at five stations, all along the United States mainland from the Buffalo River to Tonawanda Island (Fig. 52). Highest values were observed in the Black Rock Canal (181 $\mu g\ kg^{-1}$) and near Two Mile Creek (50 $\mu g\ kg^{-1}$). These areas are probable sources of this compound.

Mirex

Mirex values throughout the entire river system were very low except at one station near the Love Canal (Fig. 53). At this station a very high value of 890 $\mu g\ kg^{-1}$ was observed. This peak was confirmed with GC/MS analysis. This was not unexpected, since Hooker Chemical was the sole producer of this compound and large quantities of it are known to have been disposed of in the nearby Love Canal dumpsite.

Methoxychlor

Elevated concentrations of this compound were observed downstream from the Black Rock Canal, near Two Mile Creek and Miller Creek, and at one station in the lower Niagara River (Fig. 54).

Total PCBs

Elevated values of total PCBs were observed at every station along the United States mainland side of the river and also in the lower Niagara River, indicating sources to the river (Fig. 55). Values along the Chippawa Channel, however, were relatively low. Very high values were observed in the Black Rock Canal (10 200 $\mu g\ kg^{-1}$) and downstream from it (2820 $\mu g\ kg^{-1}$), and between Tonawanda Island and the United States mainland (17 900 $\mu g\ kg^{-1}$), indicating a large source, probably Ellicot Creek or the Erie Canal. Less elevated values were also observed near the Love Canal (630 $\mu g\ kg^{-1}$) and in the Buffalo River (480 $\mu g\ kg^{-1}$). Values in the lower Niagara River ranged from 100 to 300 $\mu g\ kg^{-1}$, indicating an increase in concentration from those observed in the Chippawa Channel of the upper Niagara.

Chlorobenzenes

Of the three dichlorobenzenes, the one with the widest usage (i.e., the 1,4-dichloro isomer [Oliver and Nicol, 1982]) also occurs in the highest concentrations and with the widest distribution in the bottom sediments of the Niagara River (Figs. 56 to 60). All of the chlorobenzene groups measured, i.e., di, tri, tetra, penta and hexachlorobenzenes were found at elevated concentrations at a station near the Love Canal area, indicating a possible source of these compounds in this area. Dichlorobenzene and trichlorobenzene isomers were also found at increased levels at a station in the Black Rock Canal by Scajaquada Creek. Trichlorobenzene isomers and pentachlorobenzene were also found to be higher in the bottom sediments sampled in the Buffalo River. One station in the lower Niagara River was found to contain higher concentrations of hexachlorobenzene and dichlorobenzene. Elevated concentrations of hexachlorobenzene were also observed at a station between Tonawanda Island and the United States mainland.

Interrelationships between Organics and Sediment Characteristics in the Bottom Sediments of the Niagara River

The data shown in Table 21b (page 16) indicate that the percentage of silt and clay was correlated to the percentage of volatile solids, but none of the organic contaminants was significantly correlated to sediment characteristics at the 90% confidence level. This indicates that the variations in contaminant concentrations are not associated with different types of sediments but are more likely associated with sources in the areas sampled.

SUSPENDED SEDIMENTS

As part of the 1981 toxic sources survey completed on the upper and lower Niagara River, suspended sediments were collected for approximately 20-h periods using three Westfalia centrifuges. Sampling was conducted on consecutive days at five different stations (Fig. 13). Suspended sediment concentration as well as organic carbon and nitrogen, total arsenic and total mercury were determined on the samples. Results are presented in Table 22.

Concentrations of Suspended Sediments

In general, suspended sediment concentrations (Fig. 61) increased from station 37.7 at the Fort Erie end of the river to Niagara-on-the-Lake by about three times. High suspended sediment concentrations measured at mid-river stations during the May survey at stations 20.5 and 19.3 were both the result of high winds and the resultant erosion and resuspension of sediments in Lake

Table 22. Suspended Sediment Characteristics of the Niagara River, 1981 (as station mean values)

Parameter	Station number					Ratio‡
	1.5*	6.8	20.5	19.3	37.7†	
Sediment concentration ($mg\ L^{-1}$)	4.1	3.5	4.9	8.4	1.4	2.9
Mercury, total ($ng\ g^{-1}$)	333	357	80	170	83	4.0
Arsenic, total ($mg\ kg^{-1}$)	12.1	11.4	13.7	13.0	9.9	1.2
Particulate organic carbon (%)	9.5	16.8	12.7	8.0	21.2	0.45
Particulate nitrogen (%)	1.2	1.2	1.5	1.0	3.1	0.38

* Niagara-on-the-Lake.
† Fort Erie.
‡ Ratio Niagara-on-the-Lake to Fort Erie.

Table 23a. Summary of Number of Detections and Mean Concentrations of Pesticide and Total PCB Residues in Suspended Sediments at Two Locations in the Niagara River, April 1979 to April 1980

Residue	Niagara-on-the-Lake confirmed detections				Grand Island confirmed detections			
	Total No. of samples	No.	Mean (ng g^{-1})	S.D.	Total No. of samples	No.	Mean (ng g^{-1})	S.D.
Mirex	41	27	19.4	49.5	3	0	ND	NC
Methoxychlor	41	18	17.3	23.3	3	0	ND	NC
α-Chlordane	41	17	5.9	5.9	3	1	8.0	NC
γ-Chlordane	41	26	10.9	7.8	3	1	7.0	NC
Σ-Chlordane	41	27	15.8	12.8	3	2	7.5	0.5
p,p′-DDT	41	33	10	10	3	2	8.0	2.1
p,p′-DDE	41	38	24	12	3	2	15.5	1.5
p,p′-TDE (DDD)	41	16	5	4	3	0	ND	NC
o,p-DDT	41	1	15.0	NC	3	1	11.0	NC
DDT	41	41	30.4	16.3	3	3	21.7	11.6
α-Endosulfan	41	10	9.5	5.3	3	0	ND	NC
β-Endosulfan	41	0	ND	NC	3	0	ND	NC
Dieldrin	41	26	5	3	3	1	23.0	NC
Endrin	41	0	ND	NC	3	1	ND	NC
Aldrin	41	0	ND	NC	3	0	ND	NC
Heptachlor	41	0	ND	NC	3	0	ND	NC
Heptachlor epoxide	41	7	3	3	3	0	ND	NC
Lindane	41	7	3.7	3.3	0	0	ND	NC
PCBs	41	41	961	2196	3	3	260	35.0

ND – Not detected.
NC – Not calculated.
Source: Warry and Chan (1981).

Erie. Similarly, high suspended sediment concentrations were measured at station 19.3 during the November survey.

Metals in Suspended Sediments

Total Mercury

Total mercury concentrations in suspended sediments of the Niagara River were consistently three to four times higher in the lower Niagara River than in the upper Niagara River (Fig. 62). This indicates that there are considerable sources of mercury to the Niagara River, probably between stations 19.3 and 6.8.

Total Arsenic

Total arsenic appears to be evenly distributed in the suspended sediments of the Niagara River (Fig. 63), although slight increases were observed from Fort Erie to Niagara-on-the-Lake.

Organic Carbon and Nitrogen

Both organic carbon and nitrogen analysis indicate that suspended sediments at Fort Erie are higher in these elements than at Niagara-on-the-Lake (Figs. 64 and 65). This may be due to the influence of Lake Erie on the Niagara River. It may be that the heavier, more inorganic sediments have already settled to the lake bottom, and

Table 23b. Revised Means If High Values Are Removed

Residue	No. of observations	Mean (ng g^{-1})	S.D.
Mirex	26	10.2	14.0
	25	7.8	5.4
PCBs	38	534	489

therefore the suspended material is carbon-rich. Then, after entering the river and flowing to Niagara-on-the-Lake, some inorganic material is picked up, either from inputs or scouring of the banks and bottom of the river, so that the carbon content is actually less at Niagara-on-the-Lake or about 40% of what it is at Fort Erie.

Organic Contaminants in Suspended Sediments

Water Quality Branch, Ontario Region, began collecting suspended sediments in the Niagara River for organic contaminants analysis in 1979. These data, previously reported by Warry and Chan (1981), indicated that higher quantities of organic contaminants such as PCBs, mirex and p,p′-DDT were present in the lower Niagara River below Grand Island than in the upper Niagara River (Tables 23a and 23b).

Therefore, in 1981, WQB-OR undertook a more extensive toxic contaminants survey in both the upper and lower Niagara River. Results of these surveys are presented as follows.

BHC Isomers (Alpha and Gamma)

Since α-BHC is a breakdown product of lindane (γ-BHC) (U.S. EPA, 1979), it is not surprising that the γ-BHC isomer was never detected in these suspended sediment samples. The α-BHC isomer was detected in about 50% of the samples collected. No obvious seasonal distribution was apparent (Fig. 66), although levels were very low at every station during the July survey. The October–November survey showed increasing concentrations in the sediments from Fort Erie to Niagara-on-the-Lake. Levels at Niagara-on-the-Lake were about 1.3 times those at Fort Erie (Table 24).

Heptachlor Epoxide and Heptachlor

No heptachlor was found in any of the 15 suspended sediment samples analyzed. Seasonal and spatial distributions shown in Figure 67 show low values at all stations except 37.7 during the July survey. These data do not indicate any consistent pattern.

Chlordane Isomers (Alpha and Gamma)

The α-chlordane isomer was detected in 10 of the 15 suspended sediment samples collected with values up to 21 $\mu g\ kg^{-1}$ (Fig. 68). Concentrations at station 37.7 were generally as high as or higher than anywhere else in the river. The ratio of values at Niagara-on-the-Lake to those at Fort Erie indicates that Lake Erie is a probable source for this compound.

Endosulfan Isomers (Alpha and Beta)

The β-endosulfan isomer was detected in only 2 of the 15 samples collected in the range from 20 to 30 $\mu g\ kg^{-1}$. The α-endosulfan isomer was detected in 12 of the 15 samples collected (Fig. 69) at concentrations up to 98 $\mu g\ kg^{-1}$. No seasonal cycle was detected in these data. This isomer also was found in higher concentrations at Niagara-on-the-Lake with values 1.4 times higher than those observed at Fort Erie.

Aldrin, Dieldrin and Endrin

No aldrin was detected in any of the 15 samples collected. Endrin was detected in 2 of the 15 samples collected with values in the range from 7 to 12 $\mu g\ kg^{-1}$. Dieldrin was the most commonly occurring of these three compounds at levels up to 19 $\mu g\ kg^{-1}$ (Fig. 70). While this compound appears to be evenly distributed throughout the Niagara River system, values at Niagara-on-the-Lake were lower than at Fort Erie, indicating that Lake Erie is a probable source.

DDT and its Metabolites

Parent DDT (p,p'-DDT) was found in 6 of the 15 suspended sediments collected. Seasonal and spatial distributions shown in Figure 71 indicate that concentrations are usually higher (up to 25 times) in the lower Niagara River than in the upper Niagara River (Table 24), indicating that sources of this compound in the Niagara River remain. This is rather surprising, since its use was banned in Canada in 1972. The persistence of this compound is well known, and perhaps its occurrence in the Niagara River in 1981 can be explained by surface erosion of soil particles and their subsequent entrance to the Niagara River system. Frank *et al.* (1981) sampled suspended solids from 105 streams on the Canadian side of the Great Lakes. Their data showed that the highest concentrations of DDT occurred in 1974 in streams draining the Niagara peninsula, where many of these compounds have been used on orchards in the past.

The o,p-DDT metabolite of DDT was detected in only one of the 15 samples collected at the level of 3 $\mu g\ kg^{-1}$.

The p,p'-DDE was detected in 14 of the 15 suspended sediment samples collected (Fig. 72). Distribution appears to be widespread throughout the river system. Levels at Niagara-on-the-Lake were lower than those observed at Fort Erie (Table 24). Since this compound is formed under biological conditions from DDT and is less susceptible

Table 24. Distribution of Chlorinated Organics ($\mu g\ kg^{-1}$ dry weight) in the Suspended Sediments of the Niagara River, 1981 (as station mean values)

Parameter	Station number					Ratio‡
	1.5*	6.8	20.5	19.3	37.7†	
Total PCBs	367	613	ND	13	ND	>367
p,p'-DDT	25	7	8	2	1	25
α-Endosulfan	27	31	42	6	5	5.4
Total DDT	35	40	20	28	25	1.4
α-BHC	12	14	3	ND	9	1.3
Mirex	1	3	1	ND	ND	>1.0
Dieldrin	6	11	14	3	9	0.7
p,p'-DDE	9	16	4	25	21	0.4
α-Chlordane	3	4	1	8	12	0.3
Chlorobenzenes						
Hexa	73	75	2	1	1	73
Tetra	60	70	ND	ND	ND	>60
Penta	37	47	2	ND	ND	>37
Tri	53	26	40	3	17	3.1
Di	190	110	155	39	81	2.3
Total	413	326	198	42	99	4.2

* Niagara-on-the-Lake.
† Fort Erie.
‡ Ratio Niagara-on-the-Lake to Fort Erie.

to biotransformation than either DDT or TDE (DDD) (U.S. EPA, 1979), it is not surprising that it occurs the most frequently of the isomers of DDT in the suspended sediments of the Niagara River.

The p,p'-TDE was detected in only 3 of the 15 suspended sediment samples collected at a range of 2-36 $\mu g\ kg^{-1}$.

Seasonal and spatial distributions for total DDT given in Figure 73 indicate that no clear seasonal pattern was evident. Data presented in Table 24 indicate that concentrations at Niagara-on-the-Lake are about 1.4 times those at Fort Erie.

Mirex

Mirex was detected at the level of 2 $\mu g\ kg^{-1}$ in only one of the nine samples collected in the upper Niagara River (station 20.5) (Fig. 74). However, it was detected in all six samples collected in the lower Niagara River in 1981, indicating that sources still exist.

Methoxychlor

Methoxychlor was detected in only 4 of the 15 samples collected at a range of between 15 and 74 $\mu g\ kg^{-1}$.

Total PCBs

Total PCBs were detected in all six samples collected in the lower Niagara River, but only in one of the nine samples collected in the upper Niagara River (Fig. 75). Samples collected at Niagara-on-the-Lake were much higher (367 $\mu g\ kg^{-1}$) than those collected at Fort Erie (less than 1 $\mu g\ kg^{-1}$) (Table 24). This indicates that sources of PCBs exist between the upper and lower sections of the Niagara River.

Chlorobenzenes

Data presented in Table 24 indicate that mean concentrations of chlorobenzene isomers in suspended sediments at Niagara-on-the-Lake were always higher than at Fort Erie. Ratios of these concentrations varied from 73 for hexachlorobenzene to 2.3 for dichlorobenzenes. A major increase in concentrations appears to have occurred between the upper and lower sections of the Niagara River (Figs. 76 to 81). This indicates that significant inputs of these materials are occurring in the Niagara River. The most likely source is the sewage treatment plant in Niagara Falls, New York.

BIOTA – SPOTTAIL SHINERS
(*Notropis hudsonius*)

During recent years, there has been growing concern over the increasing concentrations of toxic contaminants in fish and biota in the Great Lakes Basin, particularly Lake Ontario. Many of these fish contain contaminant concentrations which pose a risk for human consumption because of their content of such materials as mercury, PCBs and mirex. Other investigators (Suns and Rees, 1978) have found that the spottail shiner (*Notropis hudsonius*) is a useful biological integrator of organochlorine contaminants in nearshore habitats because of its limited mobility. With this in mind, samples were collected at seven different stations in the upper and lower sections of the Niagara River in mid-September 1982 (Fig. 82).

Sample Collection and Analysis

Samples were collected by using a 20-m long, 0.6-cm mesh bag-seine net in the nearshore area of the river. Most of these samples were collected through the generous cooperation of Mr. Karl Suns of the Ontario Ministry of the Environment. Details of the seven sampling locations are given in Table 25.

Table 25. Spottail Shiner Station Descriptions in the Niagara River, 1982

Station	Description
A	Just upstream from Niagara-on-the-Lake water intake
B	In Peggy's Eddy near SCA outfall
C	By Queenston, downstream from sand dock
D	At search and rescue station, on United States shore just upstream from American Falls
E	Just offshore from 102nd Street dumpsite
F	By the mouth of Frenchman's Creek
G	Just downstream from the Peace Bridge on Canadian side

After this collection, the fish were immediately frozen in dry ice and kept frozen until analysis.

Identification and quantification of contaminants were completed at the WQB-OR laboratory in Burlington, according to methods described in the *Analytical Methods Manual* (Environment Canada, 1979).

Organic Contaminants in Spottails

Eighteen organochlorine contaminants, including total PCBs and eleven chlorobenzenes, were measured at

each of the seven sampling locations. Of the 18 organochlorines measured, lindane (γ-BHC), heptachlor, aldrin, heptachlor epoxide, γ-chlordane, α- and β-endosulfan, endrin, p,p′-TDE, p,p′-DDT and methoxychlor were not detected at levels above the 4 ng g^{-1} detection limit. Other compounds listed in decreasing order of their numbers of detection are PCBs (6), p,p′-DDE (4), dieldrin (4), mirex (3), α-BHC (2), α-chlordane (1) and o,p-DDT (1). Of the 11 chlorobenzenes measured, only 1,4-dichlorobenzene was detected in more than two of the samples collected (four times). Several other isomers, namely 1,2,4-trichloro and 1,2,3,4-tetrachloro and pentachloro, were not detected in any of the samples collected.

Spatial distributions of the most commonly occurring contaminants are given in Figures 83 to 87. These data indicate relatively high values for PCBs, particularly at stations D and E. All samples collected within the river, except at Frenchman's Creek, violated the 1978 GLWQA specific objective of 100 ng g^{-1} for PCBs in fish. Mirex concentrations were below the analytical detection limit of 4 ng g^{-1} except at the three stations A, B and C in the lower Niagara River. Total DDT concentrations mainly consisting of p,p′-DDE, varied from 5 ng g^{-1} at station D to 51 ng g^{-1} at station B. No obvious pattern was evident in these data. Two stations, A and E, had concentrations of total DDT below the detection limit of 4 ng g^{-1}. Dieldrin in these spottail shiners occurred at concentrations near or below the detection limit of 4 ng g^{-1} at all seven stations. Of the 11 chlorobenzenes measured, only 1,4-dichlorobenzene occurred at levels above the detection limit of 50 ng g^{-1} at four stations (A, C, D, and G).

Trace Metals in Spottails

Some metals analyses (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) have been completed for three of the seven sampling locations given in Figure 82. Metals were analyzed only on these three stations because there were insufficient fish available for analysis from the other four stations.

Table 26. Metals (mg kg^{-1}) in Spottail Shiners in the Niagara River, September 1982

Parameter	Niagara-on-the-Lake (A)	Queenston (C)	Frenchman's Creek (F)
Cadmium	0.070	0.080	0.030
Chromium	0.20	0.20	0.20
Copper	0.51	0.71	0.84
Nickel	0.030	0.040	0.025
Lead	0.080	0.080	0.025
Zinc	31.6	40.9	38.2

Those stations analyzed for metals were Frenchman's Creek (F) in the upper Niagara, and Queenston (C) and Niagara-on-the-Lake (A) in the lower Niagara River. Complete data are given in Table 26.

Chromium was not detected in these three locations at levels above the detection limit of 0.20 mg kg^{-1}. Cadmium was two to three times higher in spottail shiners collected in the lower Niagara River. Nickel and zinc were somewhat higher in the lower Niagara than the upper Niagara River sample. Lead was three to four times higher in the lower Niagara River samples. Zinc did not appear to show an increasing trend from upper to lower Niagara River.

SUMMARY

Cross-stream differences in total iron, total manganese and total zinc were significant at the 95% confidence level in the Tonawanda Channel during 1979 surveys. Levels of most metals were significantly higher in the Tonawanda Channel than in the Chippawa Channel.

Violations to the 1978 Great Lakes Water Quality Agreement occurred frequently for total iron especially during storm events in the eastern basin of Lake Erie. Other parameters such as turbidity, fecal coliform and total phosphorus also showed large increases during the storms.

In a survey of trace metals throughout the Niagara River in May 1981, several violations to 1978 Agreement objectives were observed. At one station (34.68) just downstream from two Buffalo Sewer Authority outfalls, violations to 1978 Agreement objectives were observed for zinc, nickel, cadmium and copper.

Prior to 1979, analytical methodology was unable to detect many of the organochlorines in Niagara River ambient waters. In 1979, with new lower detection limits, lindane and α-BHC were detected in more than 50% of the samples collected. In 1981, total PCBs, α-BHC and di, tri and tetrachlorobenzenes were detected in more than 50% of the samples collected at mean values above 1 ng L^{-1}.

A new sampler (McCrea, 1982), capable of extracting organics from a 200-L water sample, was used during 1981 surveys on the Niagara River. These data have shown that concentrations of heptachlor epoxide, α-endosulfan, total PCBs, p,p′-DDE and γ-BHC in the aqueous fraction (operational definition) increase by a factor of more than two from the Fort Erie end of the Niagara River to Niagara-on-the-Lake. This indicates that significant sources of these compounds are present within the basin itself.

Five major areas of contamination were located in the 1981 survey of bottom sediments. These are the lower end of the Black Rock Canal, the Scajaquada Creek area, the Tonawanda Island-Love Canal-Little River area, the Buffalo River, the Strawberry Island area and the Queenston area. High metal concentrations often above MOE dredge spoil criteria were observed in many of these areas. These analyses are for 0.5 *N* HCl extractable metals. The objectives are for total metals. Therefore the number of violations is conservative because this analysis gives lower values than the total metals extraction method. Levels of metals and numbers of violations were consistently higher on the United States side of the river. Particle size analysis indicated some significant relationships between metals but not between metals and clay and silt abundance, indicating that metal concentrations are not dependent on sediment adsorptive capability but rather on other factors such as location of input sources or current velocity in the sampling area. High organic contaminant concentrations were also found in these areas. None of the organic contaminants was significantly related to sediment adsorptive capacity characteristics such as percent clay and silt or percent volatile solids. This indicates that contaminant concentrations are not associated with different sediment types but are more likely related to sources in the areas sampled.

Measurements of suspended sediments at five locations in the Niagara River in 1981 indicate that higher suspended sediment concentrations occur at Niagara-on-the-Lake than at Fort Erie. This increase of nearly three times the concentration is probably the result of erosion and scouring of the river bottom and inputs. However, organic carbon and nitrogen content of the suspended sediments at Niagara-on-the-Lake were only about 40% of those at Fort Erie This indicates an addition of inorganic material load to the Niagara River during its course. Mercury concentrations at Niagara-on-the-Lake were about four times higher than at Fort Erie, indicating sources of mercury along the river system. Some compounds for which Lake Erie appears to be a significant source to the Niagara River are p,p′-DDE, α-BHC, p,p′-TDE, dieldrin, and α-chlordane.

A survey in 1979 indicated that suspended sediments carried higher organic contaminant concentrations in the lower Niagara River than in the upper Niagara. Additional data collected in 1981 showed that suspended sediments were considerably enriched in organics, particularly PCBs, p,p′-DDT, α-endosulfan and chlorobenzenes in the lower Niagara River.

Polychlorinated biphenyls, p,p′-DDE and dieldrin were detected at more than 50% of the spottail shiner sampling locations.

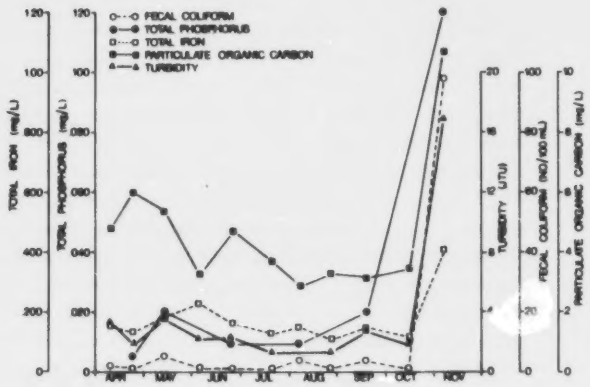
High PCBs were observed in spottail shiners at the two stations on the United States side of the upper Niagara River near the 102nd Street dumpsite and directly downstream from Hooker Chemical at the search and rescue station upstream from the American Falls.

Polychlorinated biphenyls at all six stations in the Niagara River except the Frenchman's Creek station violated the 1978 GLWQA specific objective of 100 ng g^{-1} for PCBs in fish.

Cadmium was two to three times higher; nickel and zinc were slightly higher and lead three to four times higher in spottail shiners in the lower Niagara River than in the upper Niagara River.

← Figure 2. Sampling locations on the upper Niagara River.

Figure 4. December 1979 storm effects at station 20.5A in the upper Niagara River.



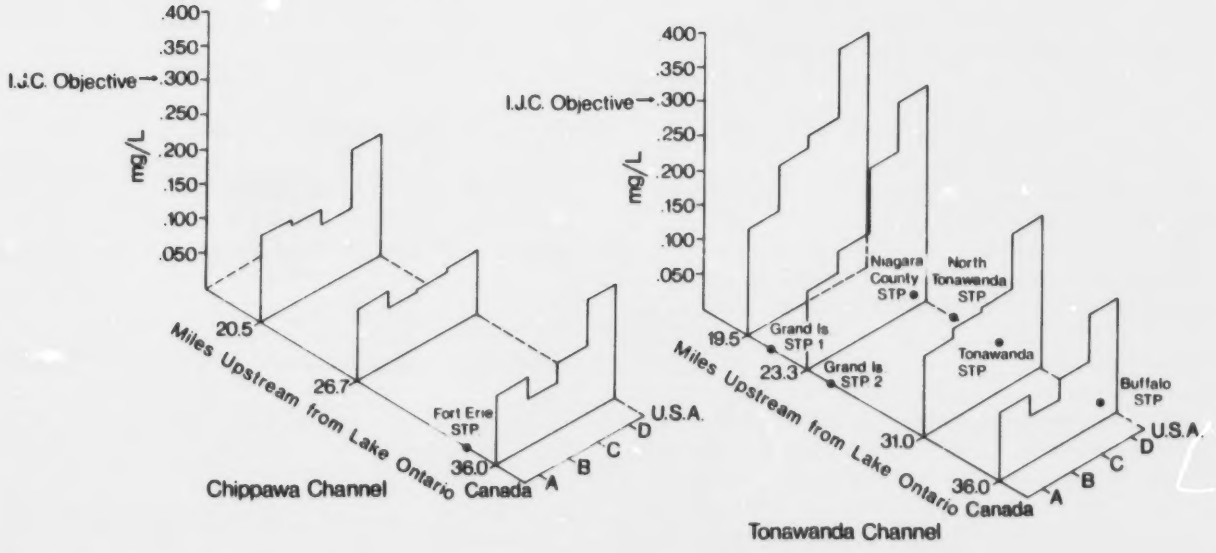


Figure 3. Mean total iron concentrations (mg L^{-1}) in the upper Niagara River, 1979.

Figure 5. Sampling locations on the Niagara River, May 1981 Trace Metal Survey.

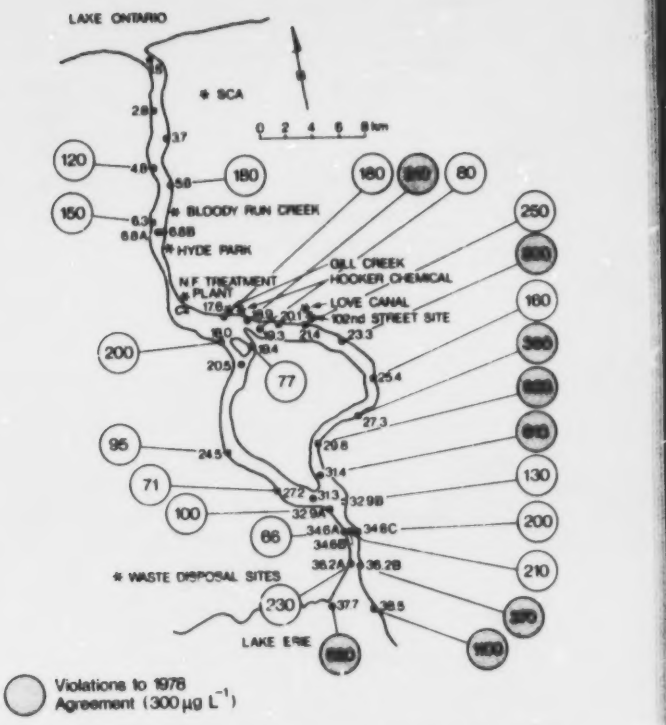


Figure 6. Total iron concentrations (µg L^{-1}) in water of the Niagara River, May 1981.

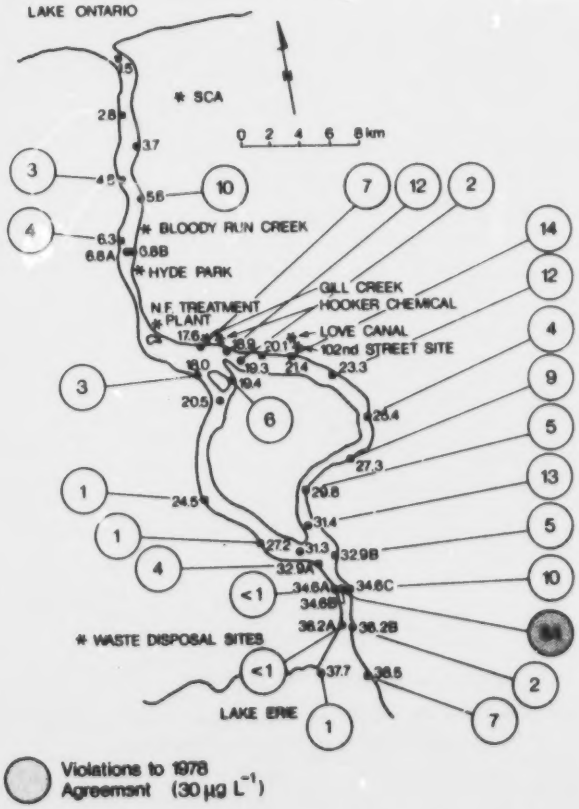


Figure 7. Total zinc concentrations (µg L^{-1}) in water of the Niagara River, May 1981.

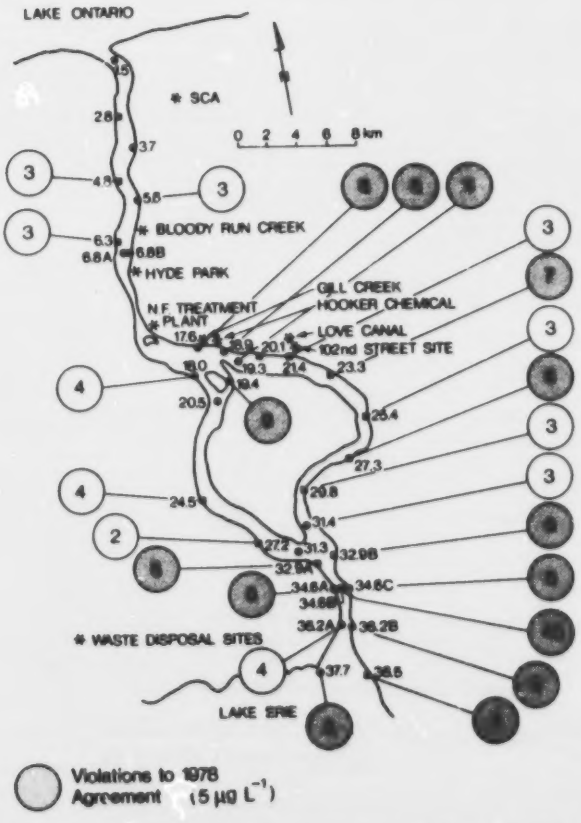


Figure 8. Total copper concentrations (µg L^{-1}) in water of the Niagara River, May 1981.

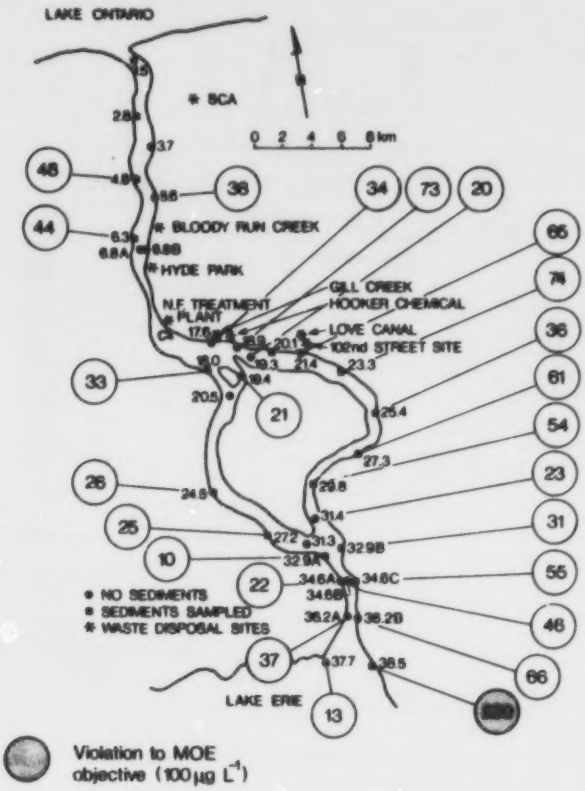


Figure 9. Extractable aluminum concentrations (µg L^{-1}) in water of the Niagara River, May 1981.

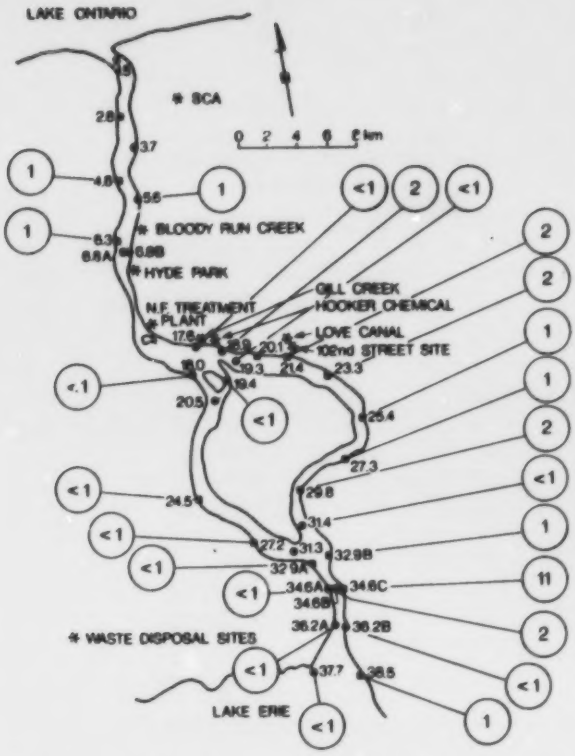


Figure 10. Total chromium concentrations (µg L^{-1}) in water of the Niagara River, May 1981.

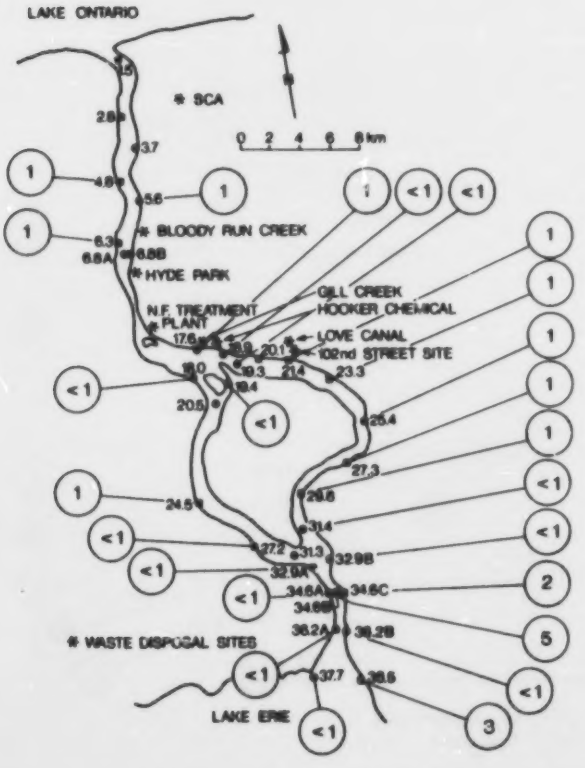


Figure 11. Total lead concentrations (µg L^{-1}) in water of the Niagara River, May 1981.

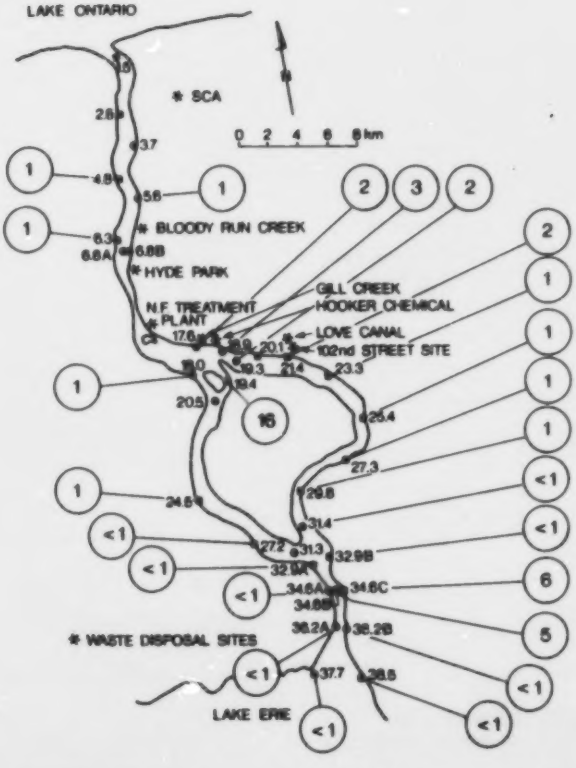


Figure 12. Total nickel concentrations (µg L^{-1}) in water of the Niagara River, May 1981.

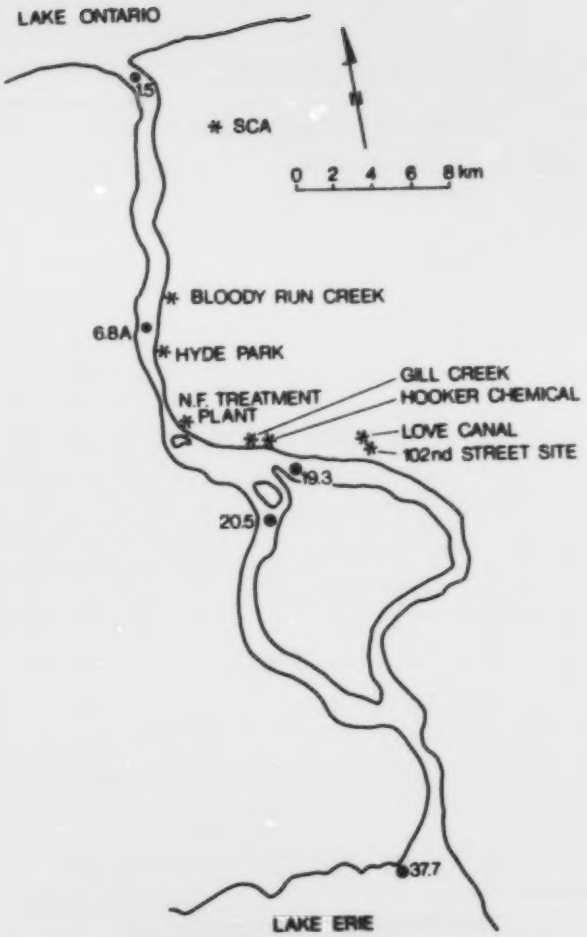


Figure 13. Station locations in the Niagara River for total water and large-volume aqueous samples, 1981.

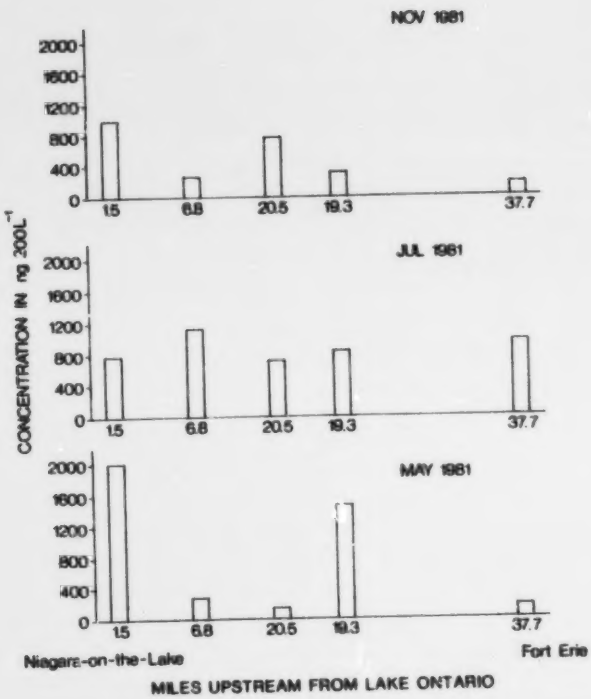


Figure 14. Distribution of α-BHC (ng 200 L^{-1}) in the aqueous phase of the Niagara River, 1981.

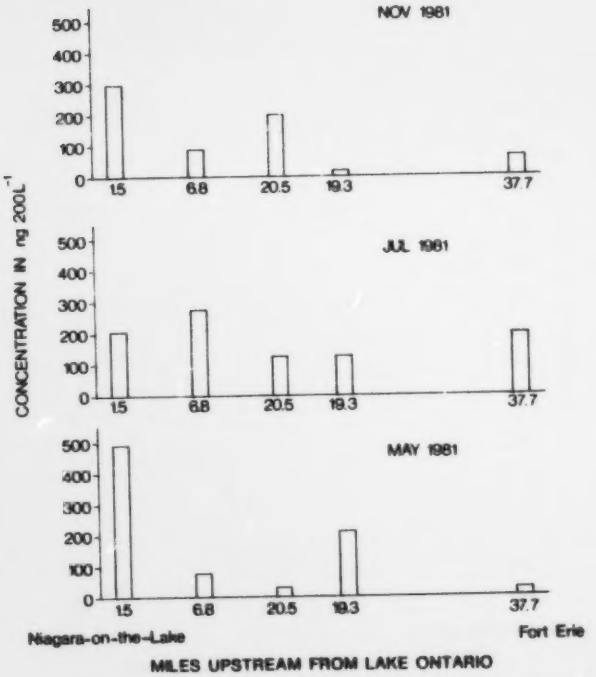


Figure 15. Distribution of γ-BHC (ng 200 L^{-1}) in the aqueous phase of the Niagara River, 1981.

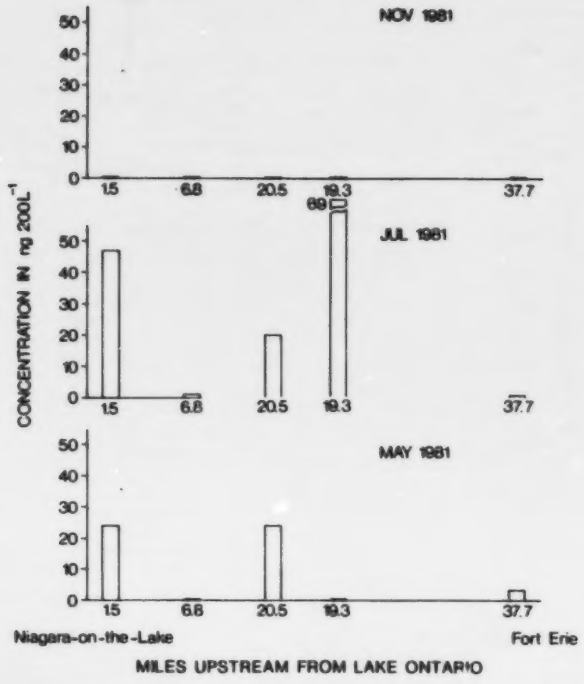


Figure 16. Distribution of heptachlor epoxide (ng 200 L^{-1}) in the aqueous phase of the Niagara River, 1981.

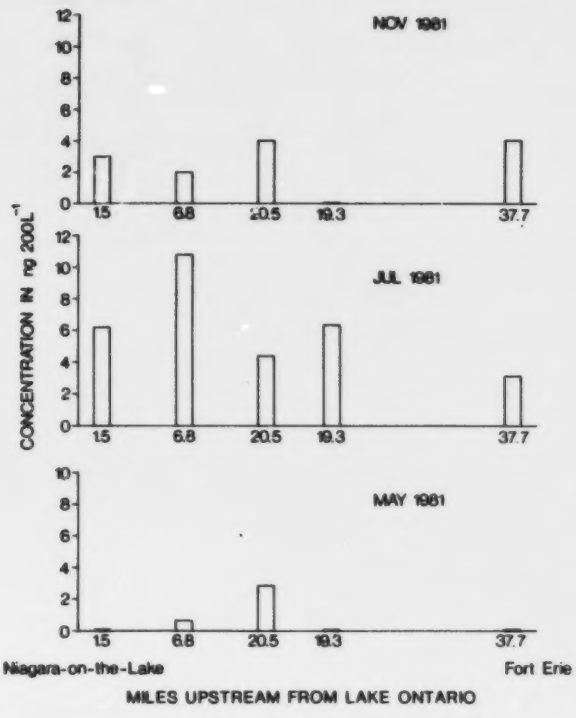


Figure 17. Distribution of endrin (ng 200 L^{-1}) in the aqueous phase of the Niagara River, 1981.

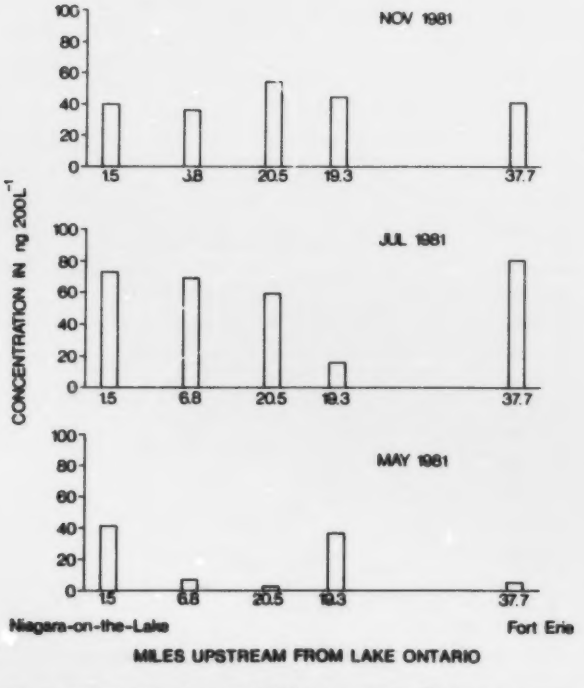


Figure 18. Distribution of dieldrin (ng 200 L^{-1}) in the aqueous phase of the Niagara River, 1981.

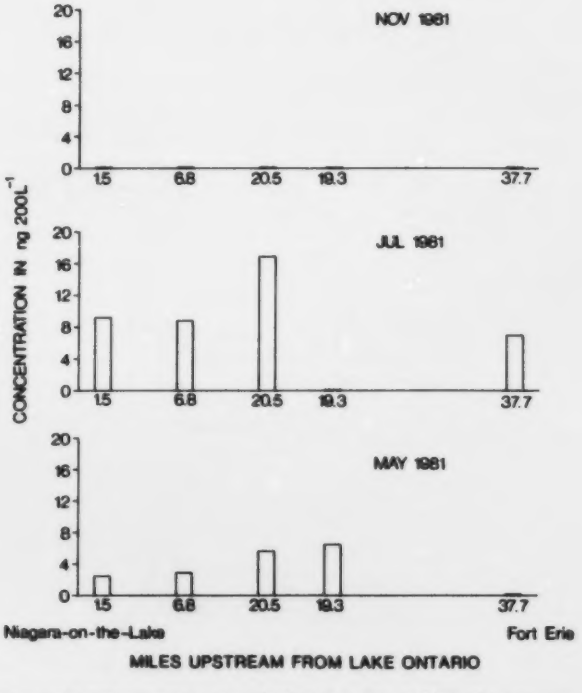


Figure 19. Distribution of p,p'-DDT (ng 200 L^{-1}) in the aqueous phase of the Niagara River, 1981.

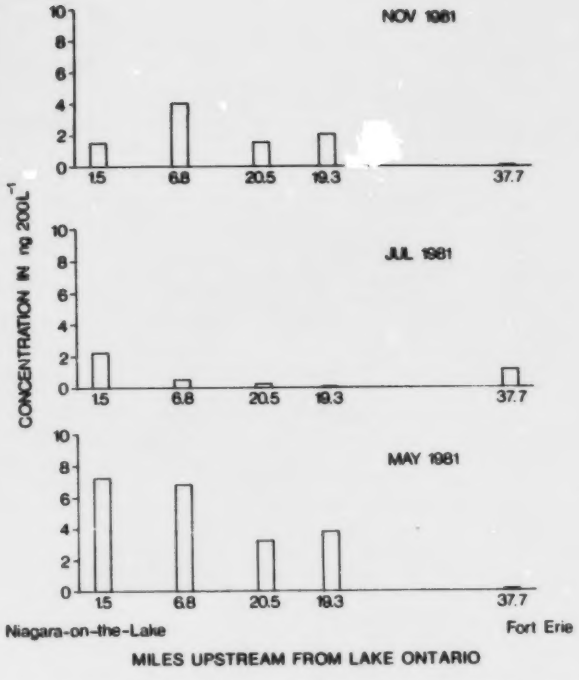


Figure 20. Distribution of p,p'-DDE (ng 200 L^{-1}) in the aqueous phase of the Niagara River, 1981.

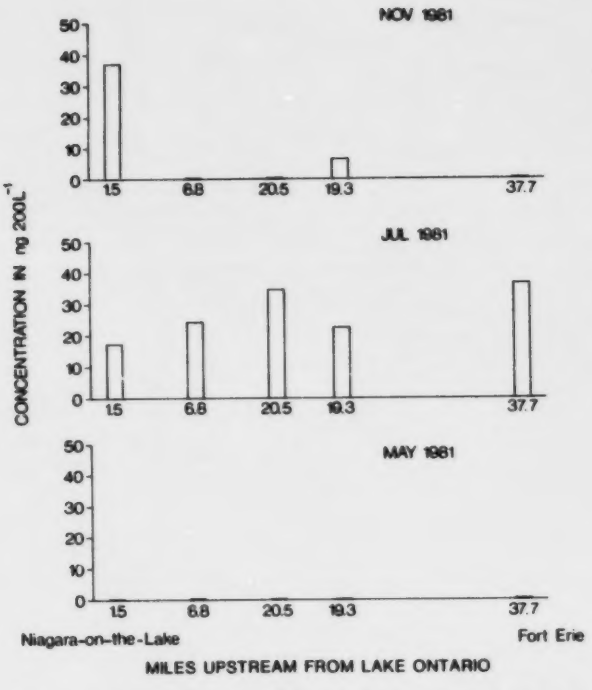


Figure 21. Distribution of p,p'-TDE (ng 200 L^{-1}) in the aqueous phase of the Niagara River, 1981.

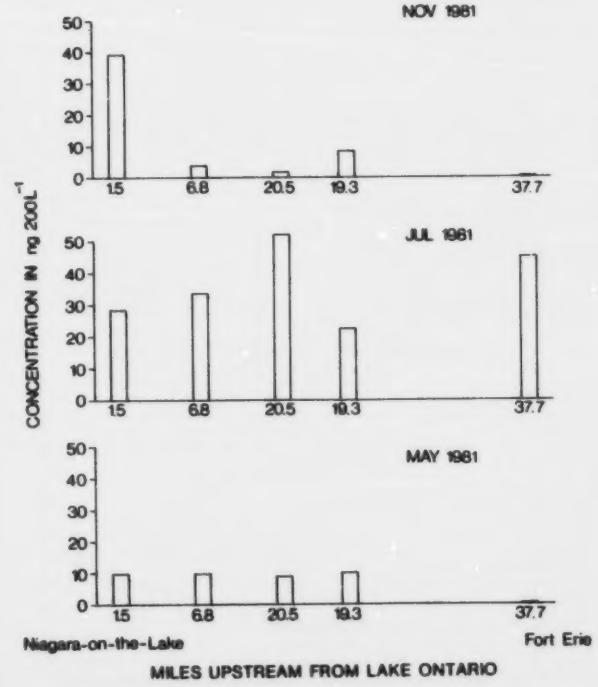


Figure 22. Distribution of total DDT (ng 200 L^{-1}) in the aqueous phase of the Niagara River, 1981.

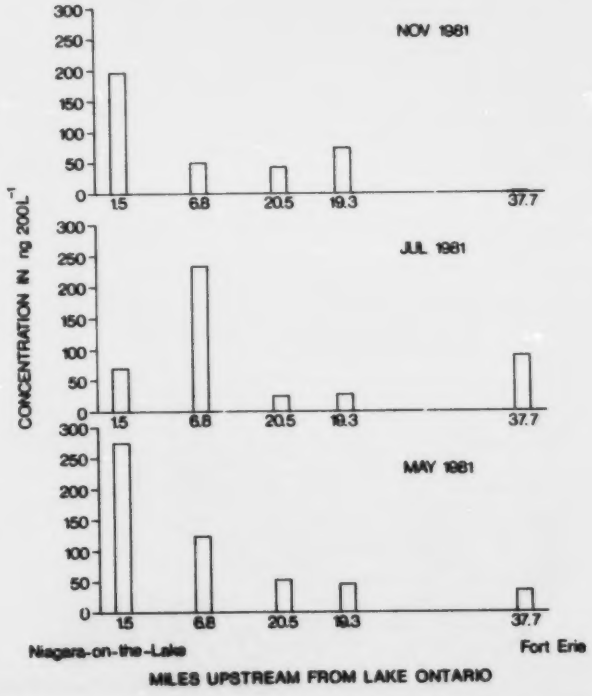


Figure 23. Distribution of total PCBs (ng 200 L^{-1}) in the aqueous phase of the Niagara River, 1981.

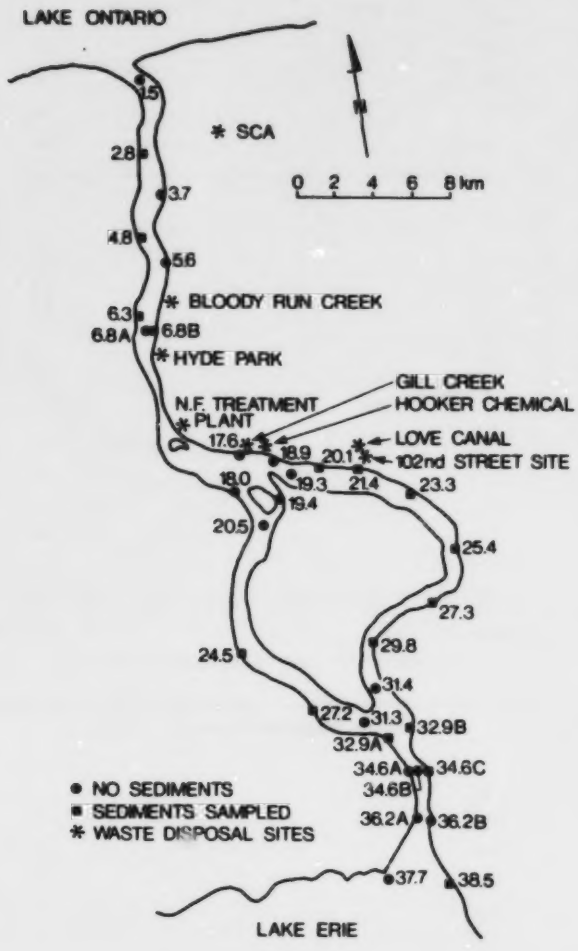


Figure 24. Bottom sediment sampling locations in the Niagara River, May 1981.

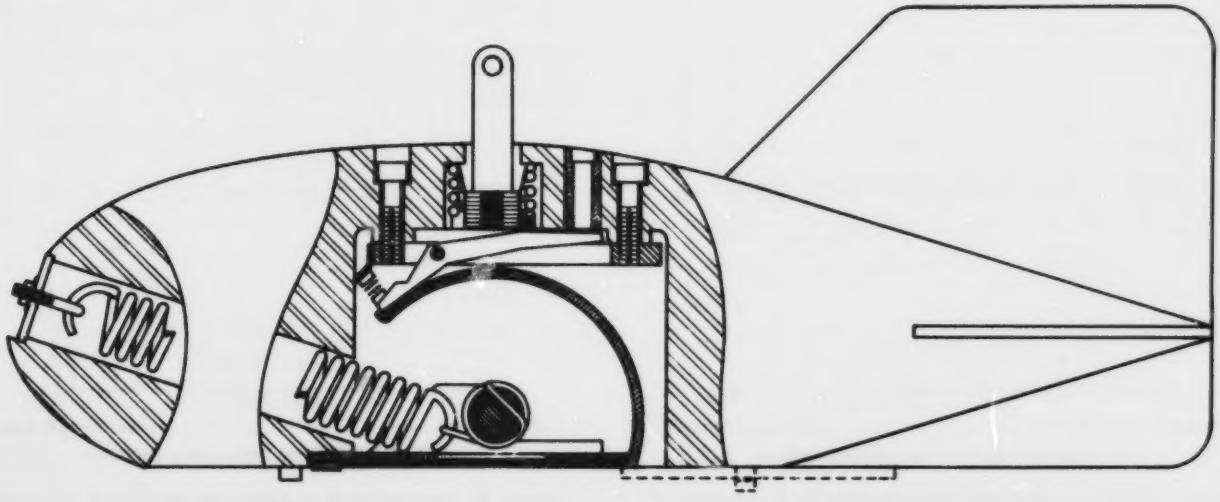


Figure 25. Bottom sediment sampler (USBM-54) used in the Niagara River, 1981.

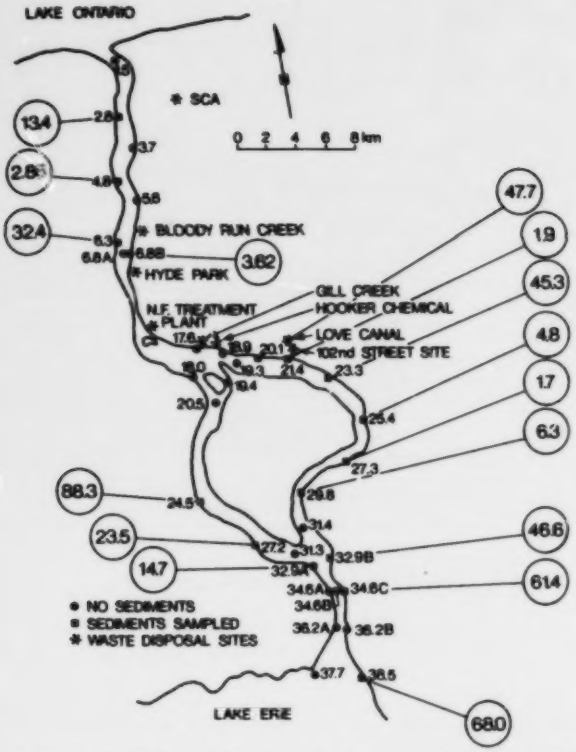


Figure 26. Distribution of clay and silt (percent) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

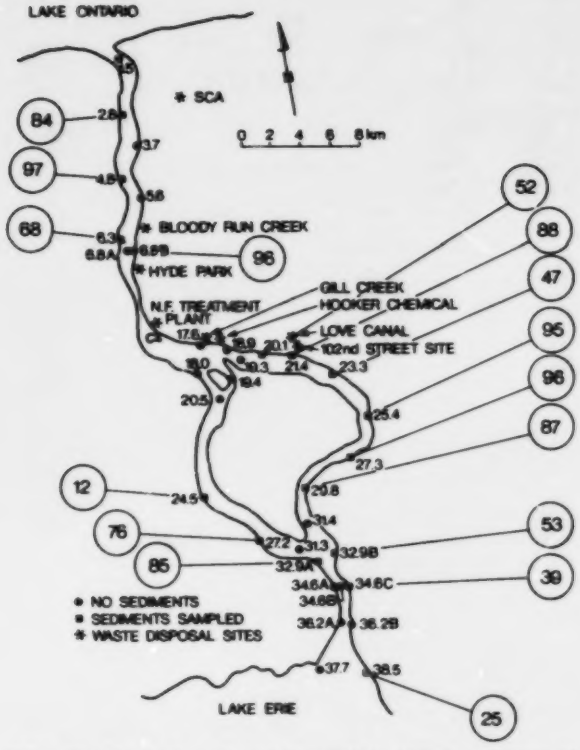


Figure 27. Distribution of sand (percent) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

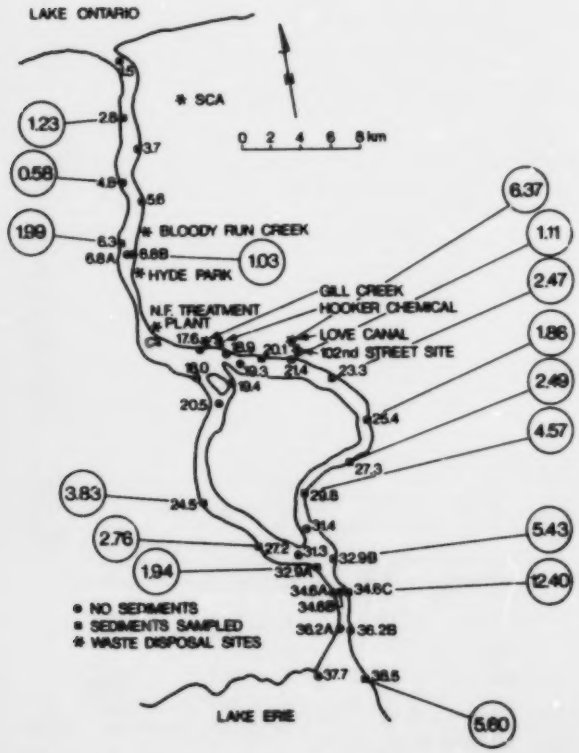


Figure 28. Distribution of volatile solids (percent) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

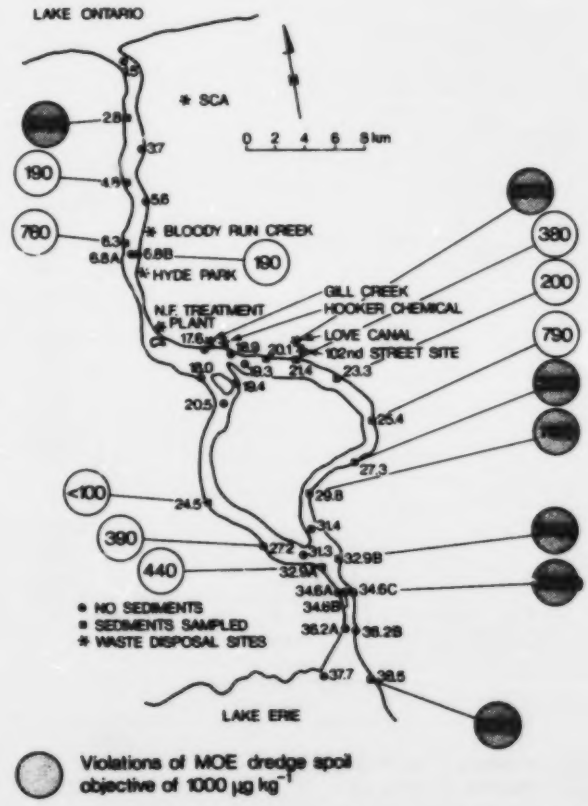


Figure 29. Distribution of extractable (0.5 *N* HCl) cadmium (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

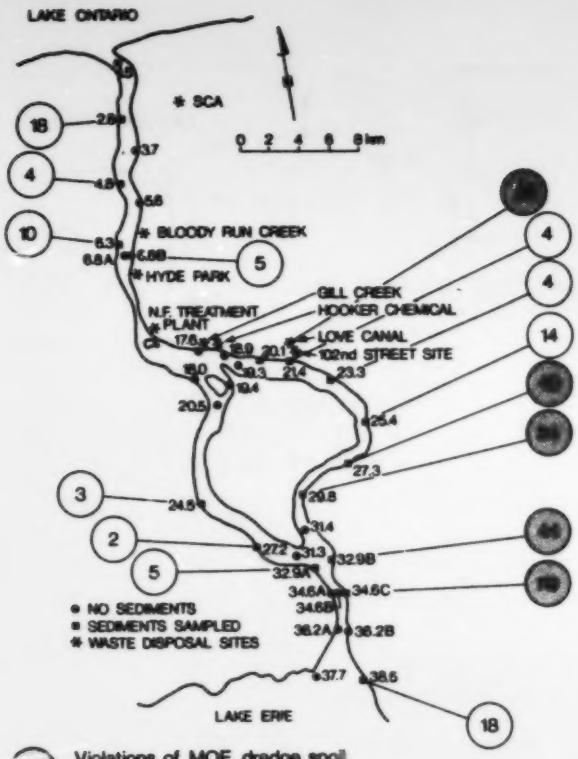


Figure 30. Distribution of extractable (0.5 *N* HCl) chromium (mg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

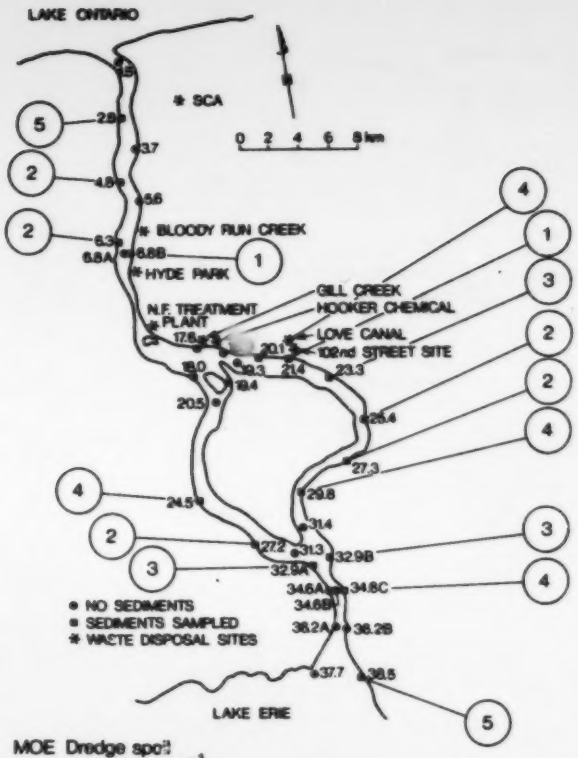


Figure 31. Distribution of extractable (0.5 *N* HCl) cobalt (mg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

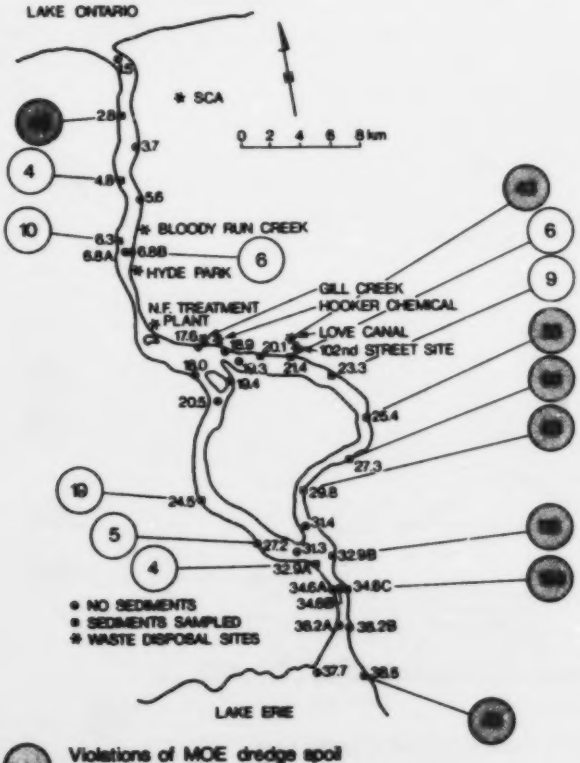


Figure 32. Distribution of extractable (0.5 *N* HCl) copper (mg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

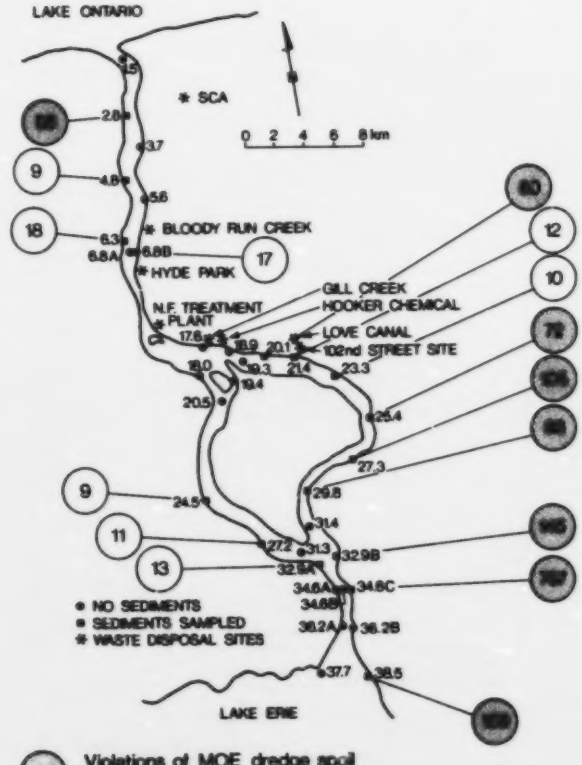


Figure 33. Distribution of extractable (0.5 *N* HCl) lead (mg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

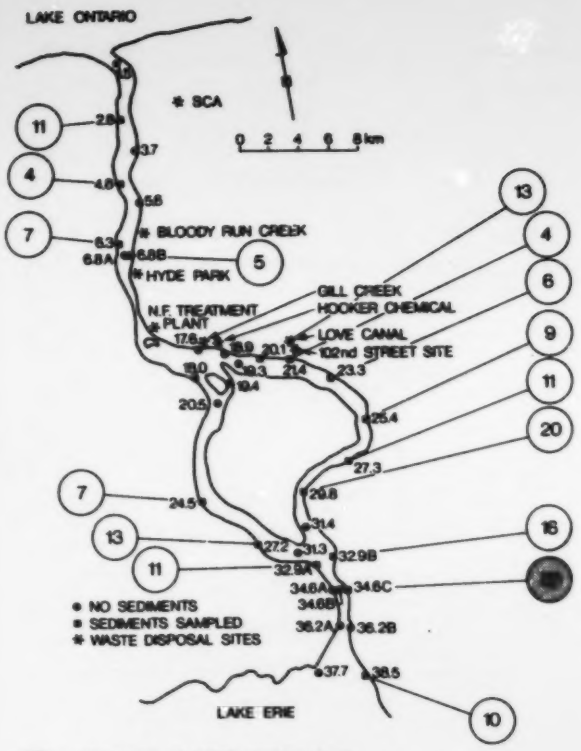


Figure 34. Distribution of extractable (0.5 *N* HCl) nickel (mg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

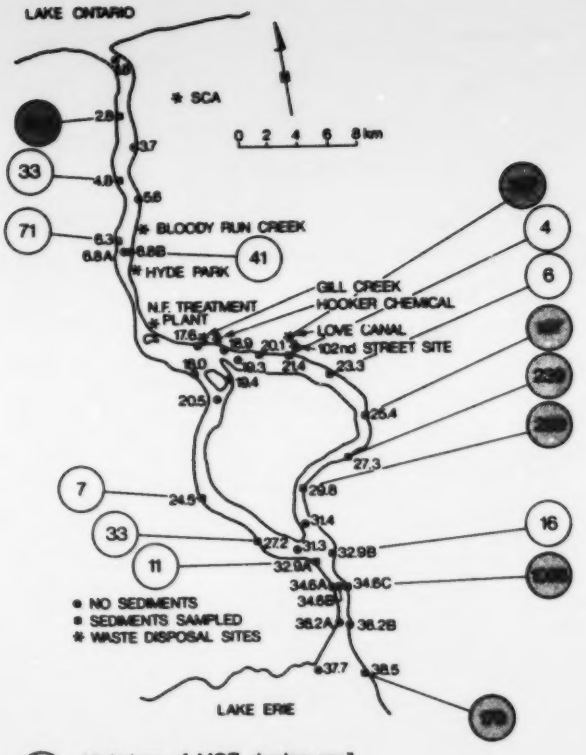


Figure 35. Distribution of extractable (0.5 *N* HCl) zinc (mg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

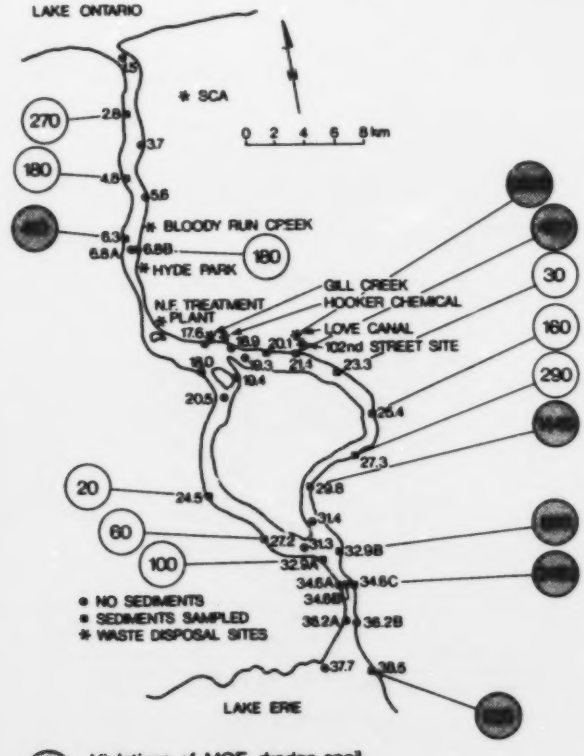


Figure 36. Distribution of total mercury (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

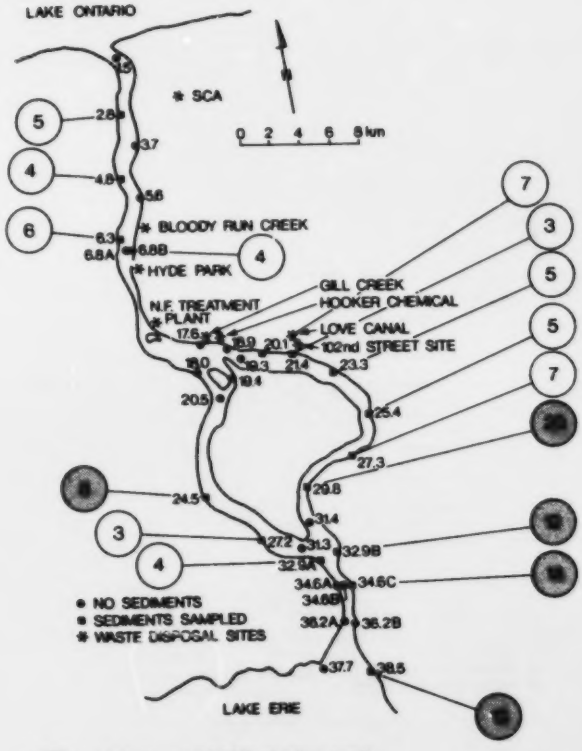


Figure 37. Distribution of total arsenic (mg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

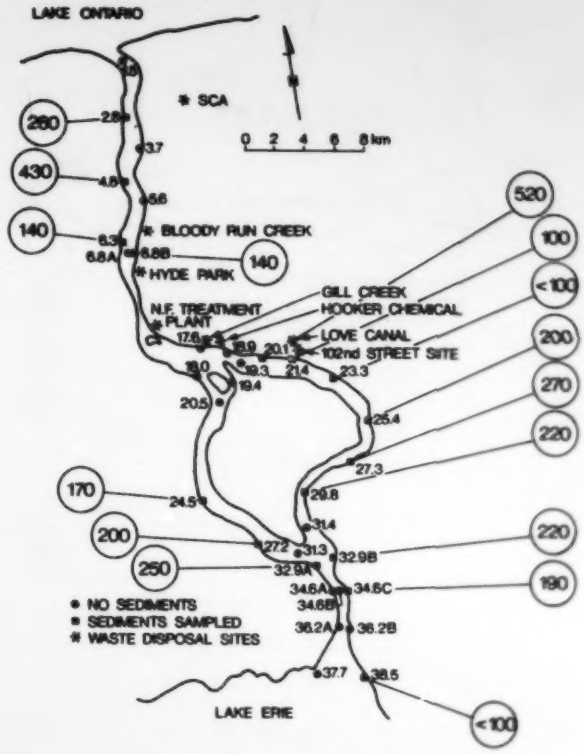


Figure 38. Distribution of total selenium (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

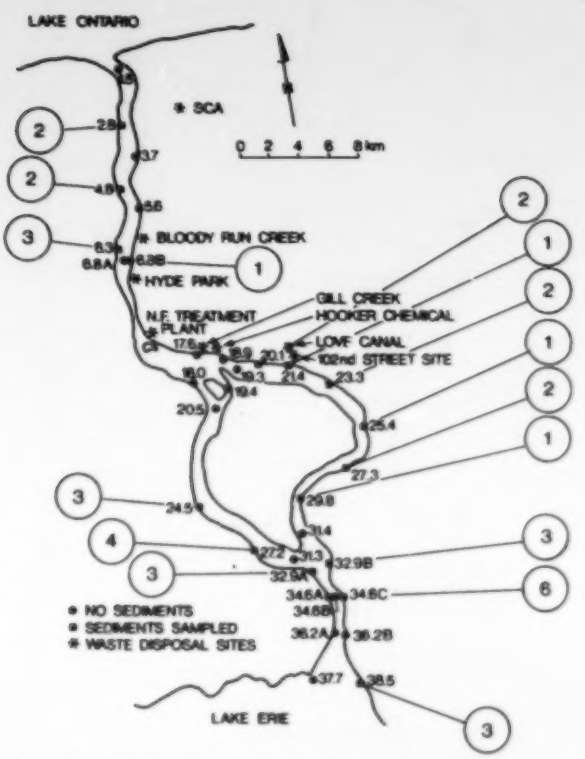


Figure 39. Distribution of organic carbon (percent) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

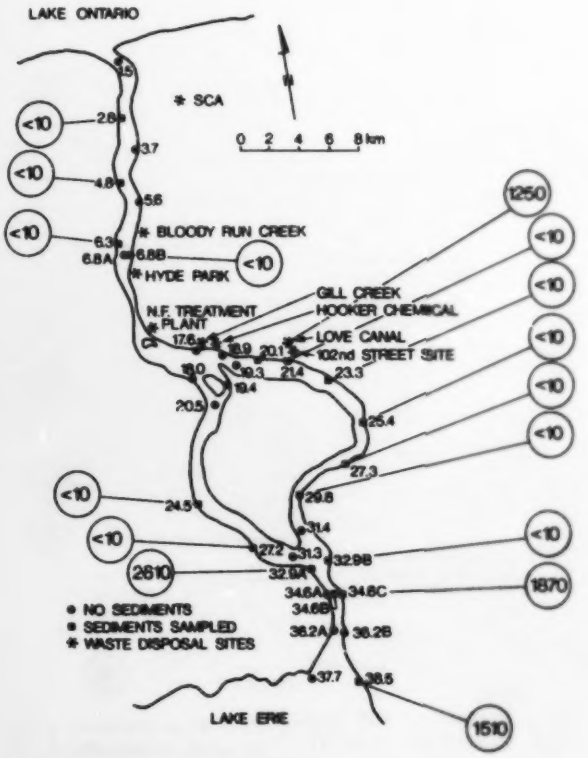


Figure 40. Distribution of organic nitrogen (mg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

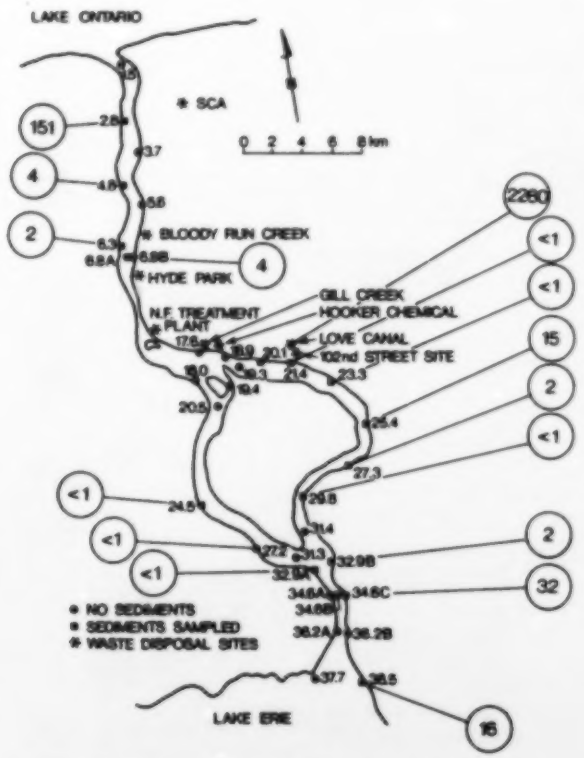


Figure 41. Distribution of α-BHC (lindane) (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

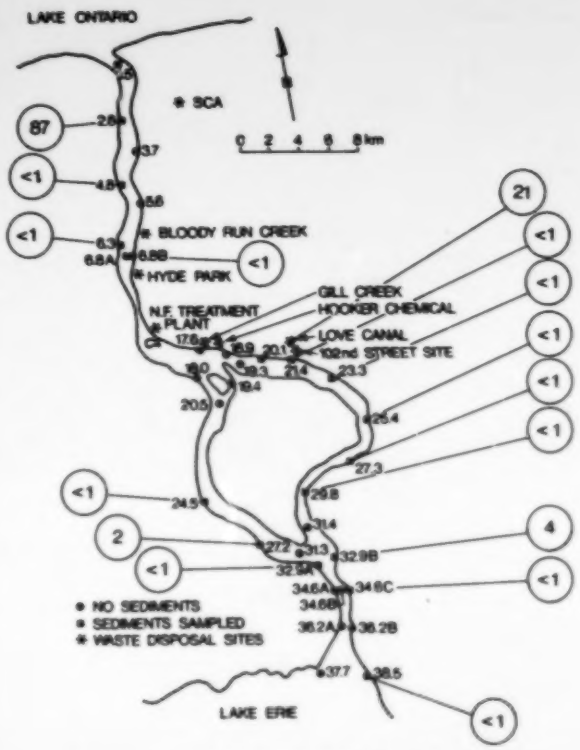


Figure 42. Distribution of γ-BHC (lindane) (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

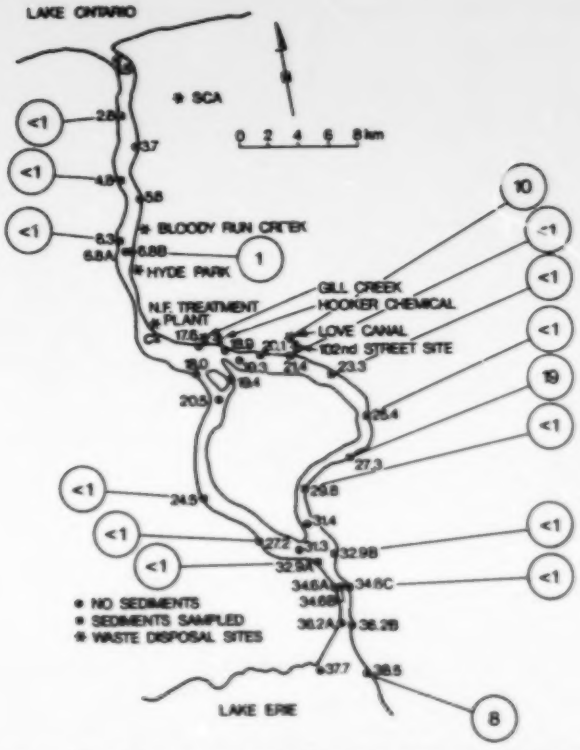


Figure 43. Distribution of heptachlor epoxide (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

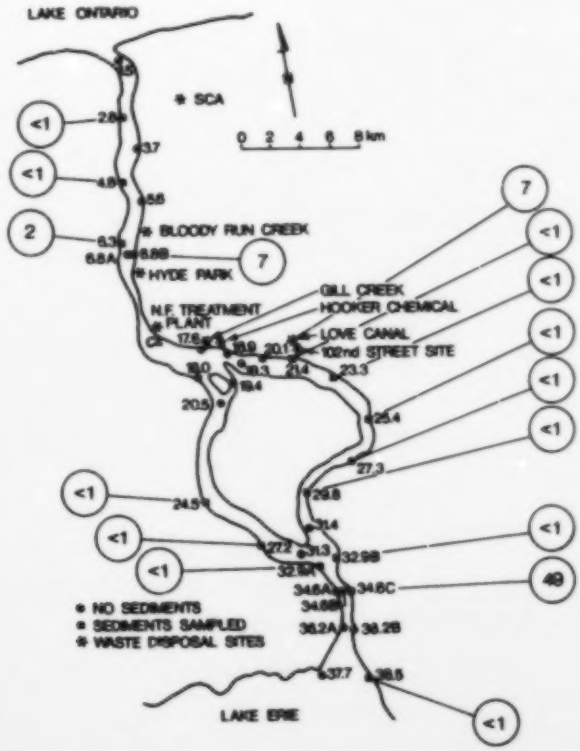


Figure 44. Distribution of α-chlordane (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

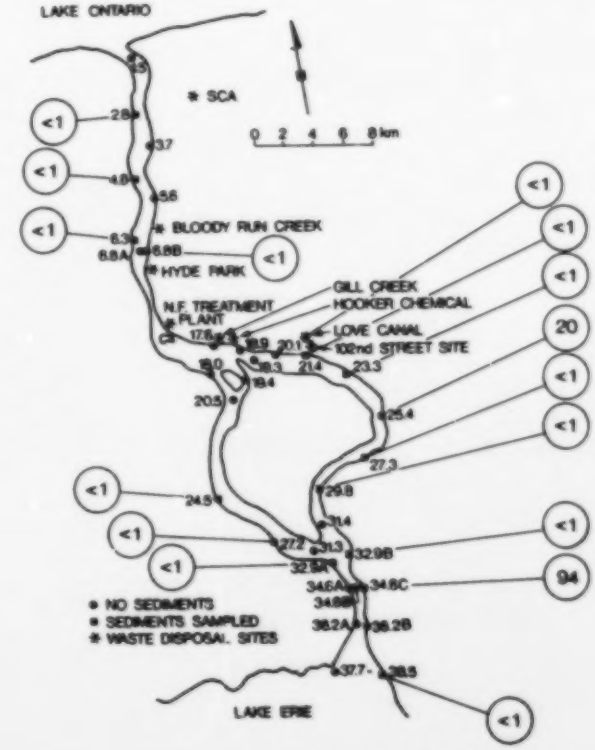


Figure 45. Distribution of γ-chlordane (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

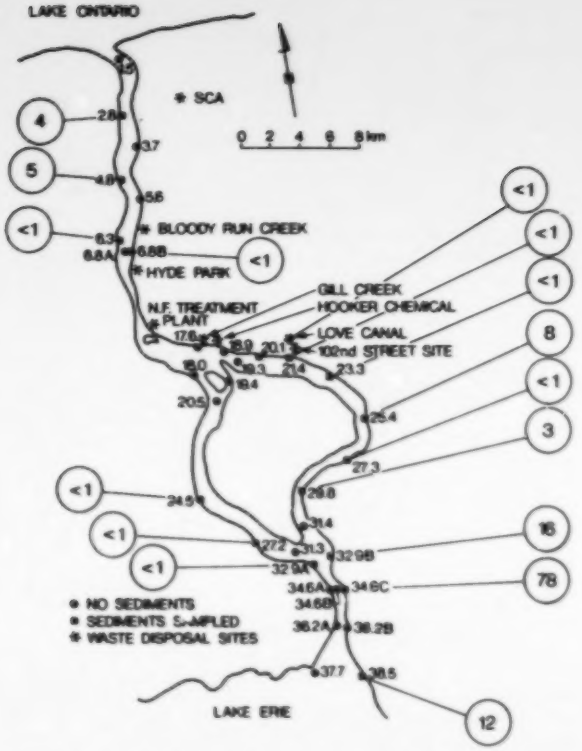


Figure 46. Distribution of α-endosulfan (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

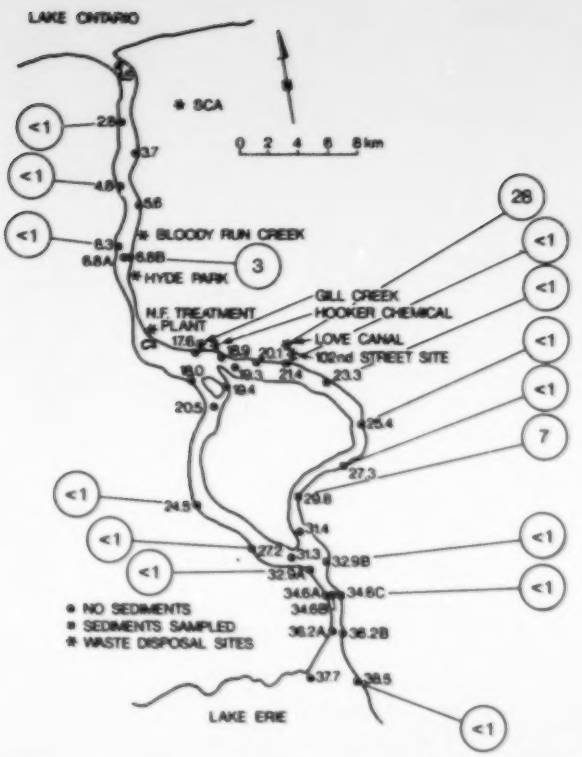


Figure 47. Distribution of β-endosulfan (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

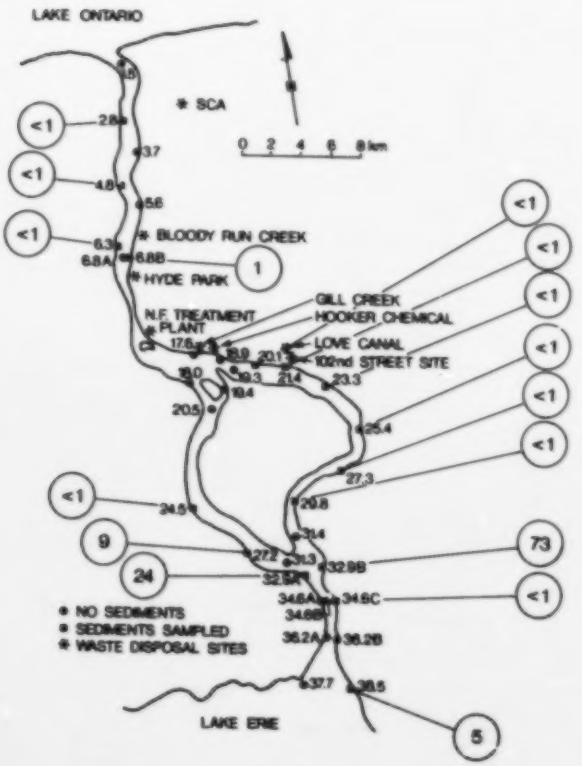


Figure 48. Distribution of p,p'-DDT (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

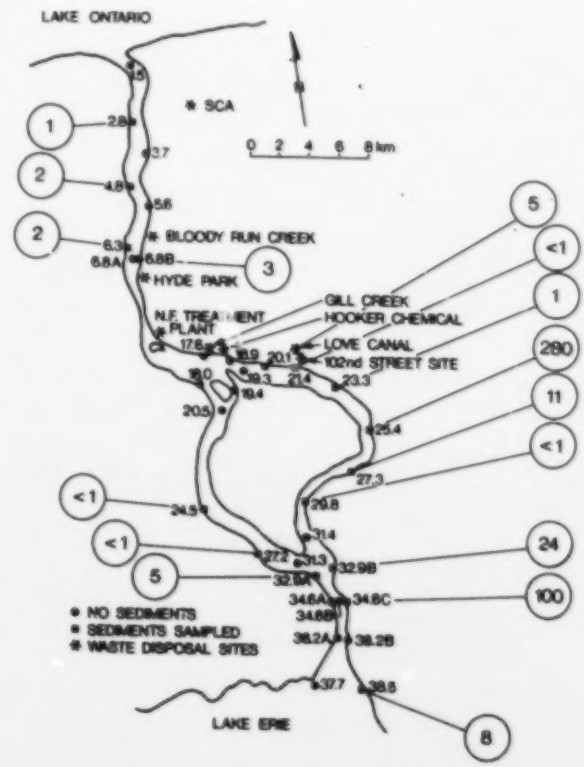


Figure 49. Distribution of p,p'-DDE (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

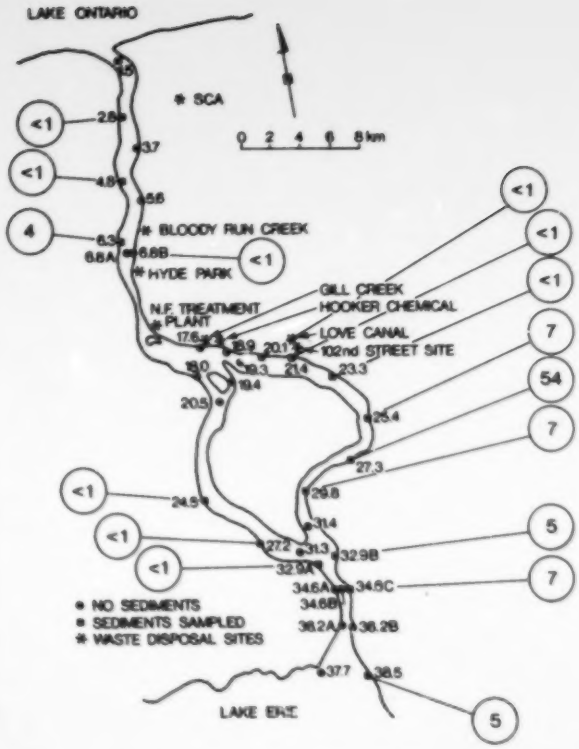


Figure 50. Distribution of p,p'-TDE (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

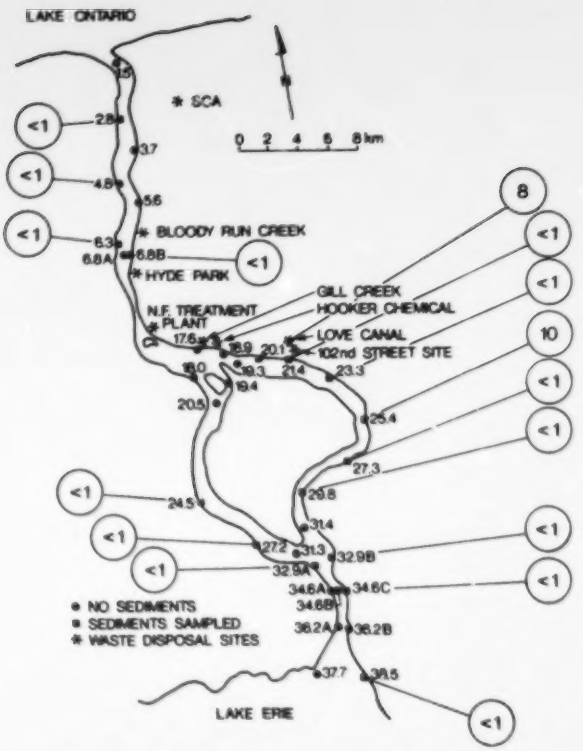


Figure 51. Distribution of dieldrin (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

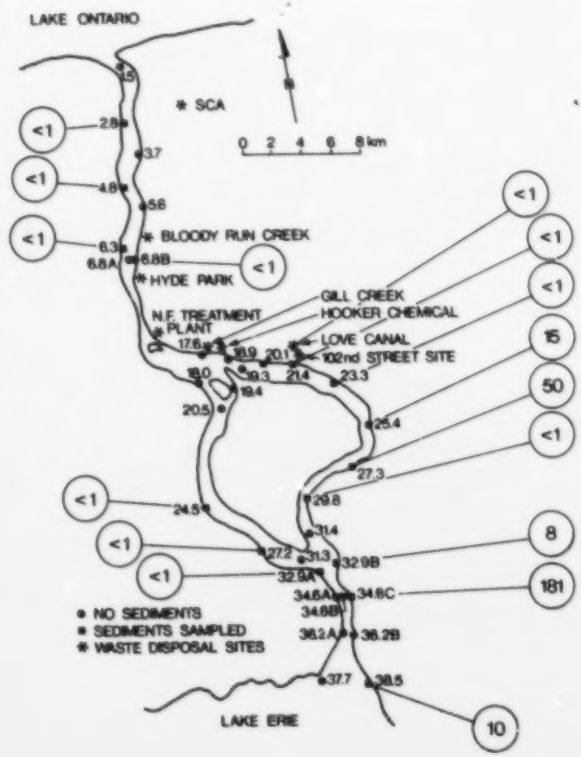


Figure 52. Distribution of endrin (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

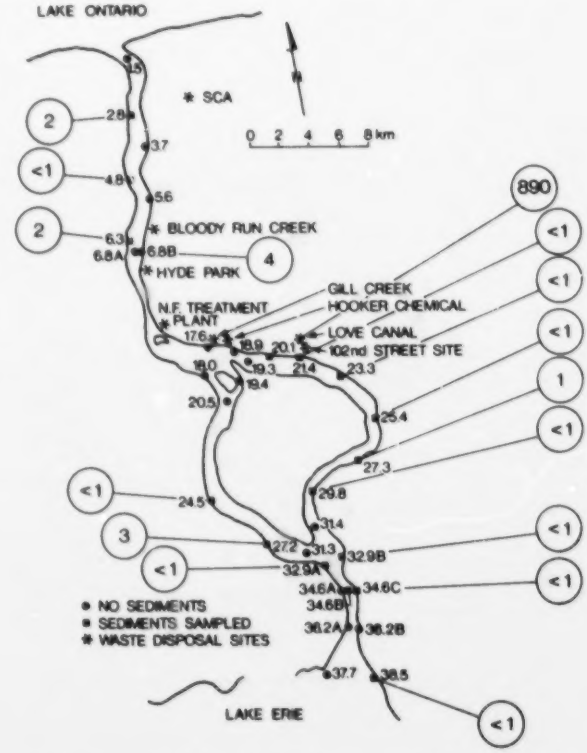


Figure 53. Distribution of mirex (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

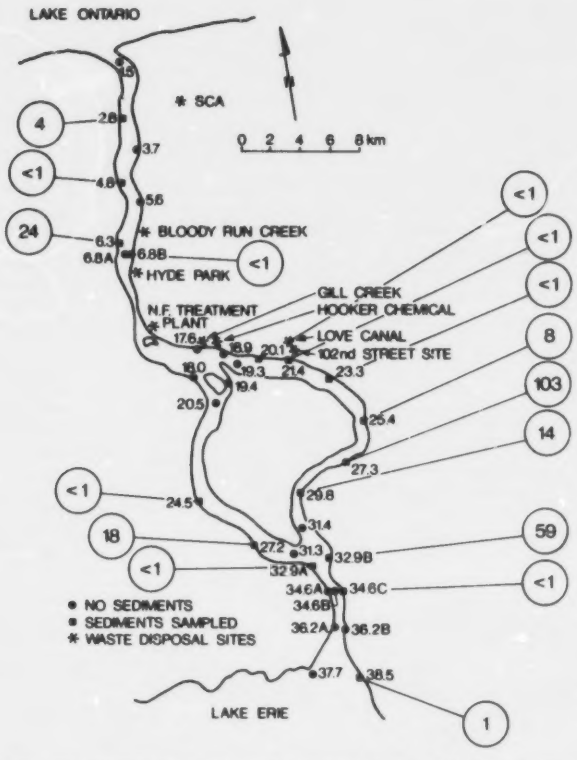


Figure 54. Distribution of methoxychlor (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

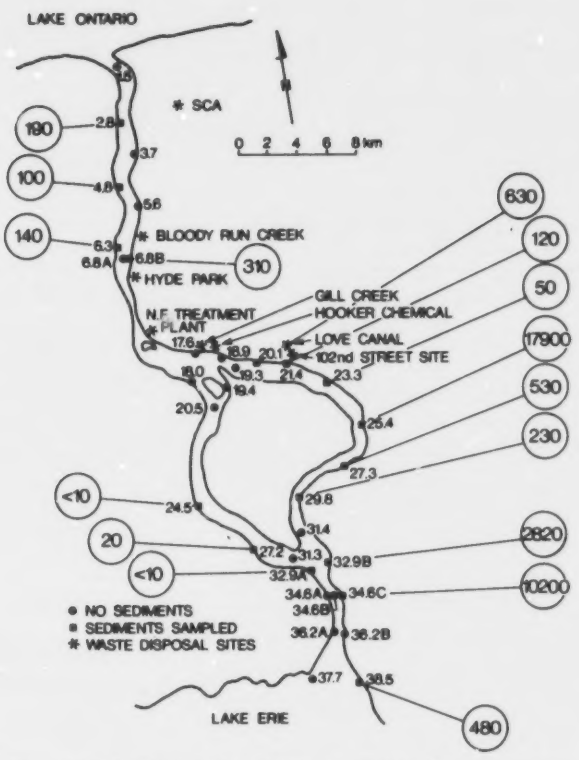


Figure 55. Distribution of total PCBs (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

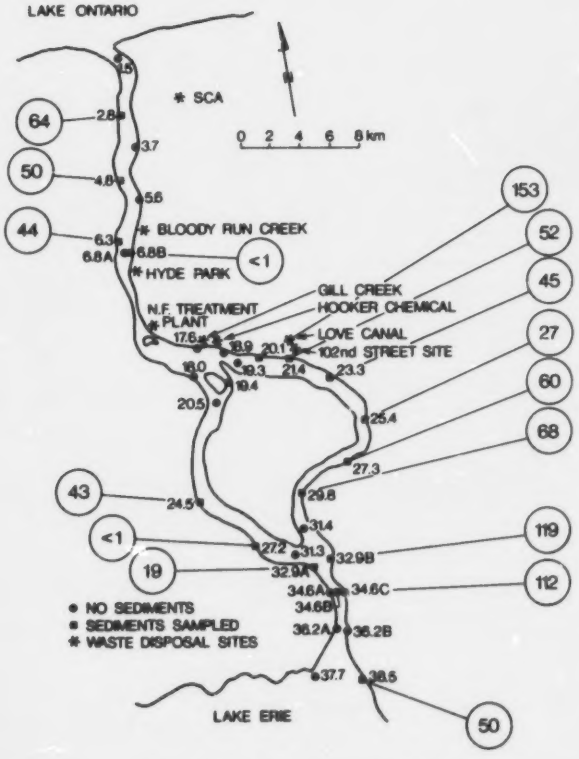


Figure 56. Distribution of dichlorobenzenes (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

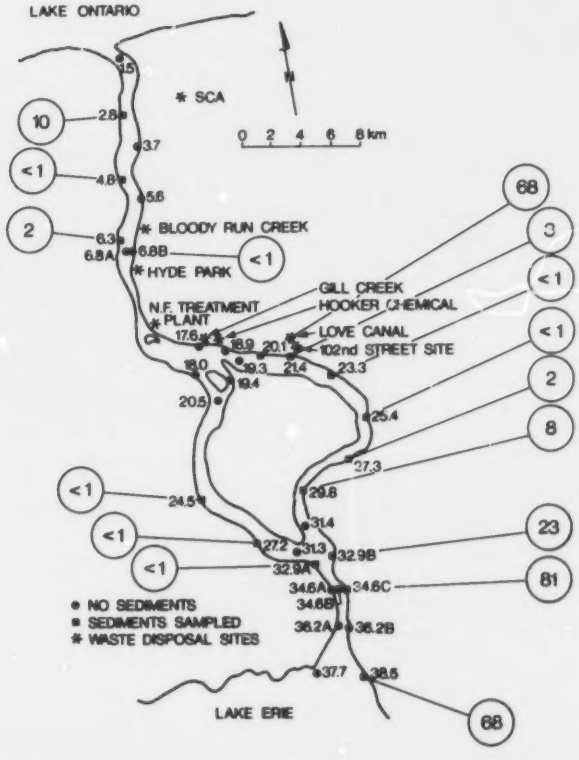


Figure 57. Distribution of trichlorobenzenes (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

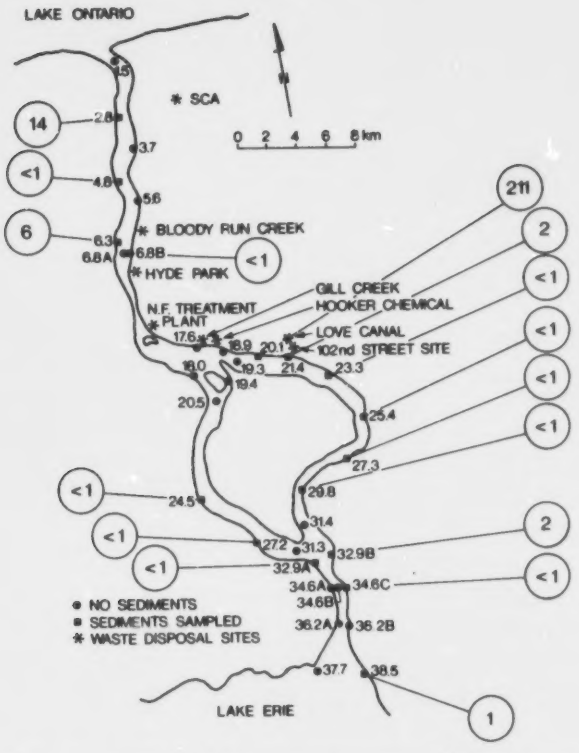


Figure 58. Distribution of tetrachlorobenzenes (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

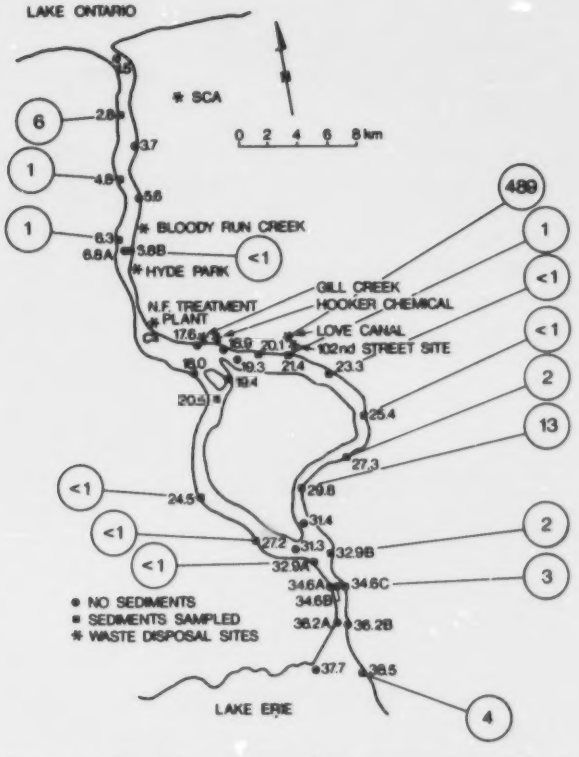


Figure 59. Distribution of pentachlorobenzenes (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

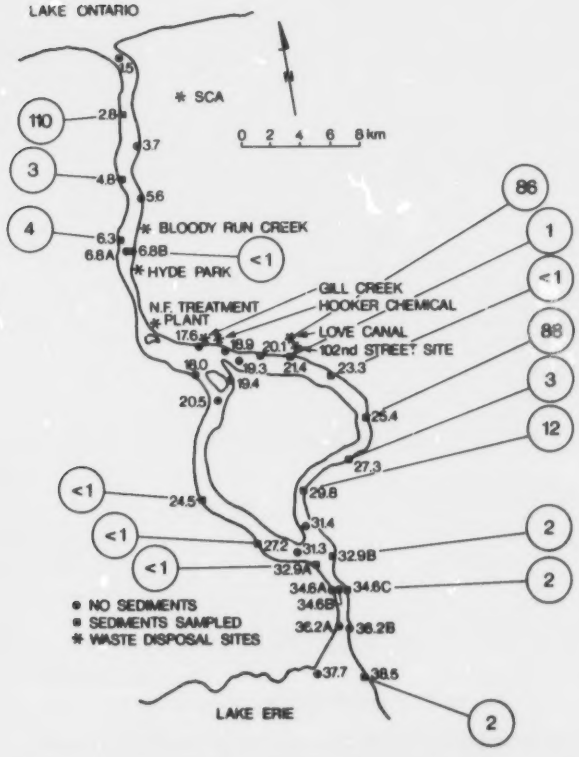


Figure 60. Distribution of hexachlorobenzenes (μg kg^{-1}) in bottom sediments of the Niagara River, May 1981.

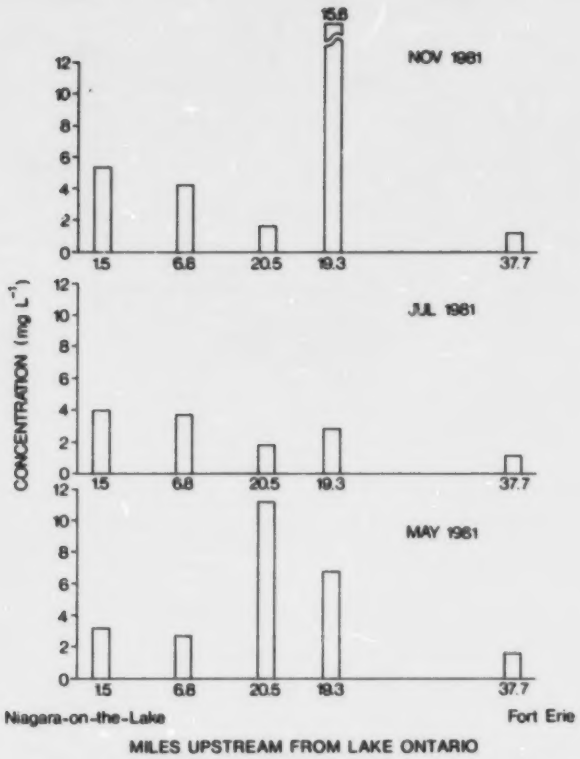


Figure 61. Distribution of suspended sediments (mg L^{-1}) in the Niagara River, 1981.

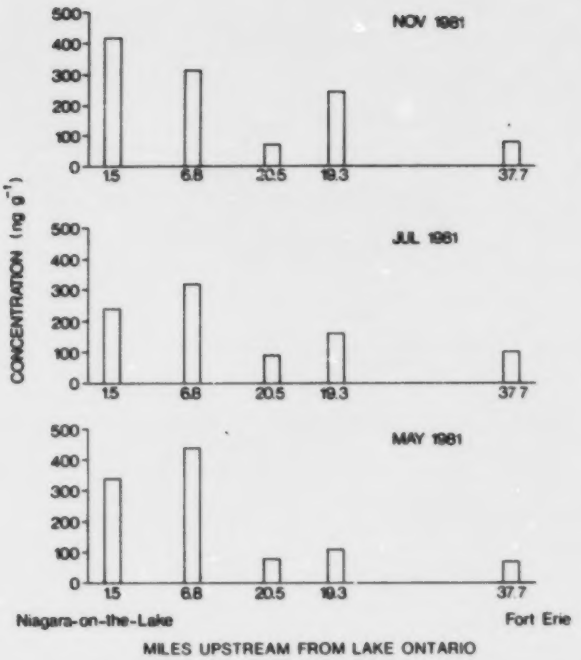


Figure 62. Distribution of total mercury (ng g^{-1}) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

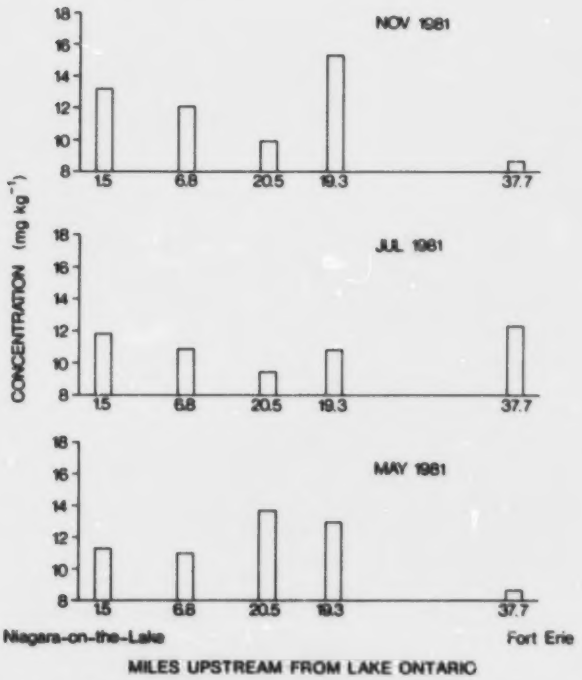


Figure 63. Distribution of total arsenic (mg kg^{-1}) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

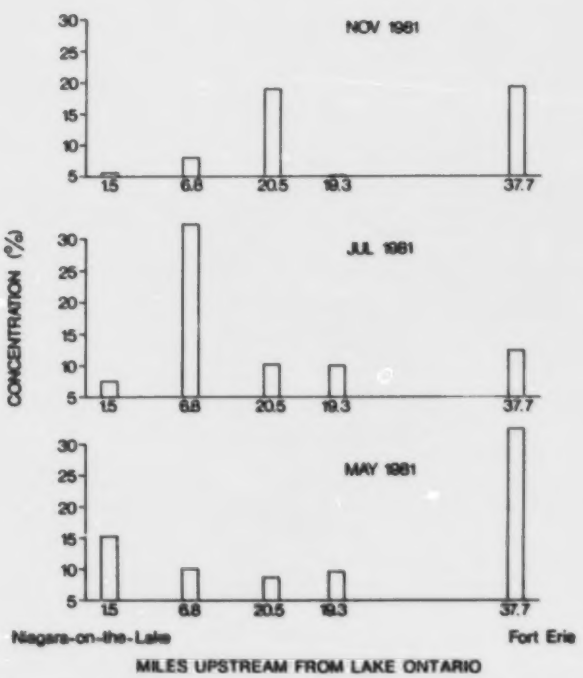


Figure 64. Distribution of organic carbon (percent) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

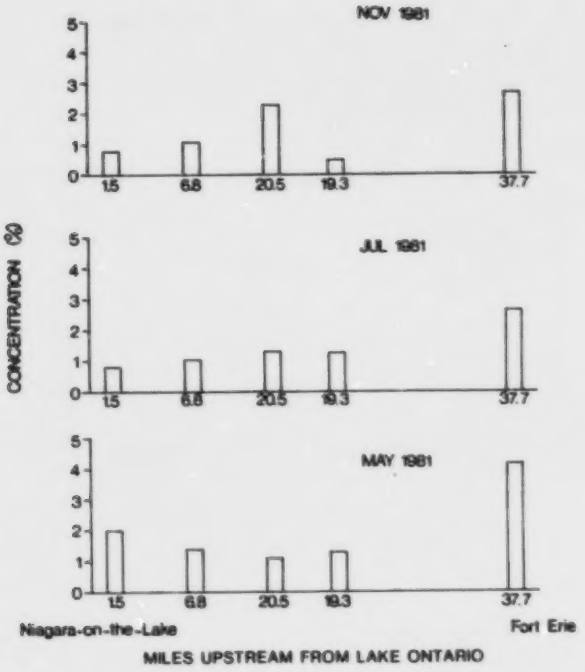


Figure 65. Distribution of organic nitrogen (percent) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

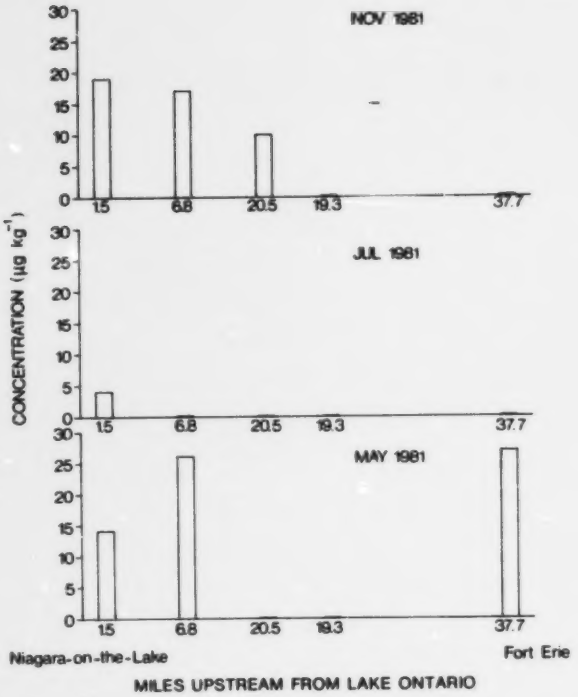


Figure 66. Distribution of α-BHC (µg kg^{-1}) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

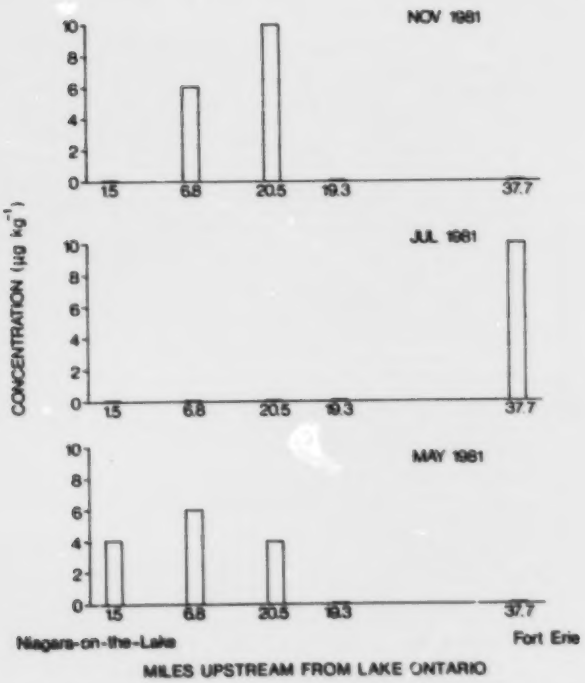


Figure 67. Distribution of heptachlor epoxide (µg kg^{-1}) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

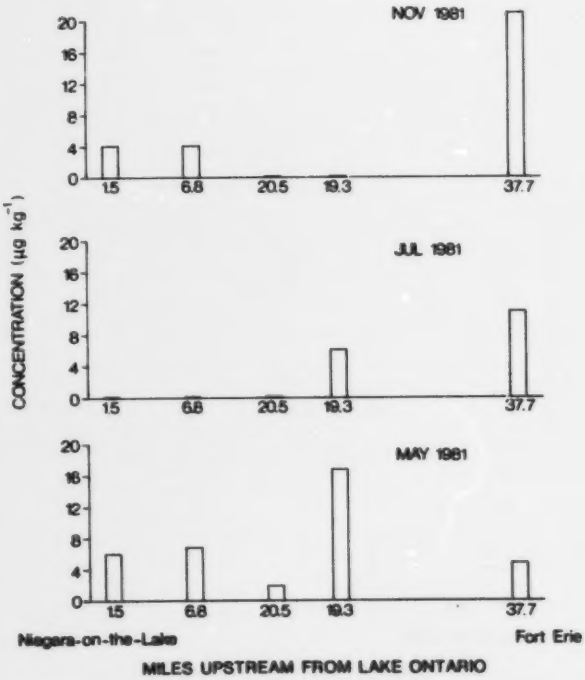


Figure 68. Distribution of α-chlordane (µg kg^{-1}) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

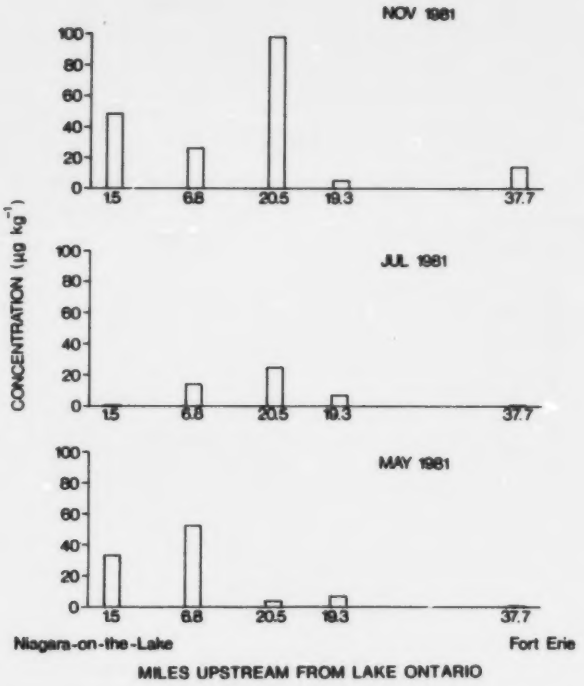


Figure 69. Distribution of α-endosulfan (µg kg^{-1}) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

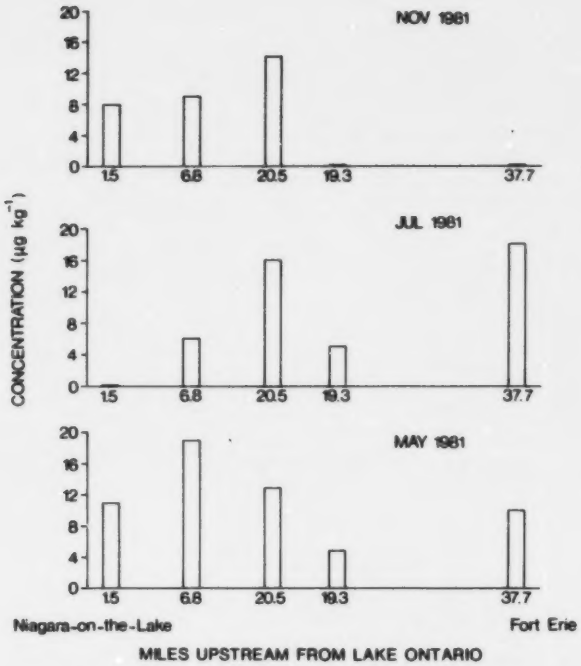


Figure 70. Distribution of dieldrin (µg kg^{-1}) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

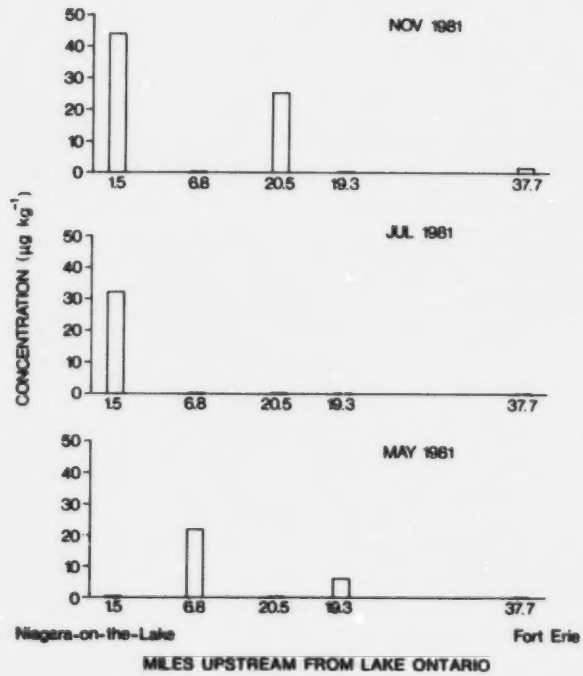


Figure 71. Distribution of p,p'-DDT (µg kg^{-1}) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

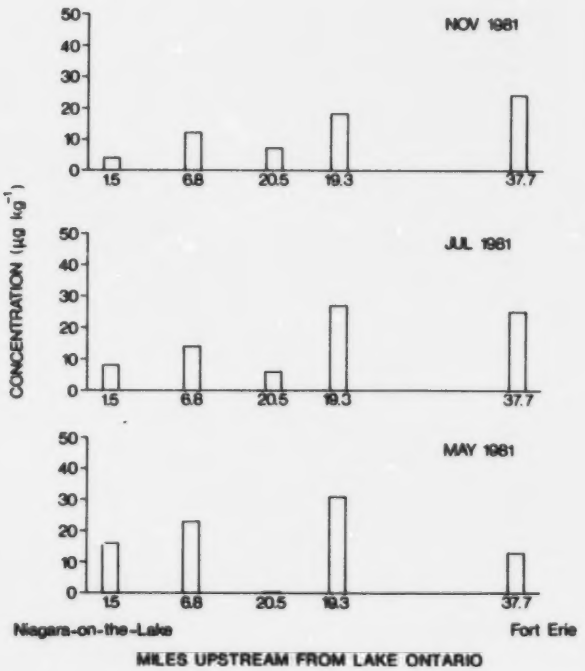


Figure 72. Distribution of p,p'-DDE (µg kg^{-1}) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

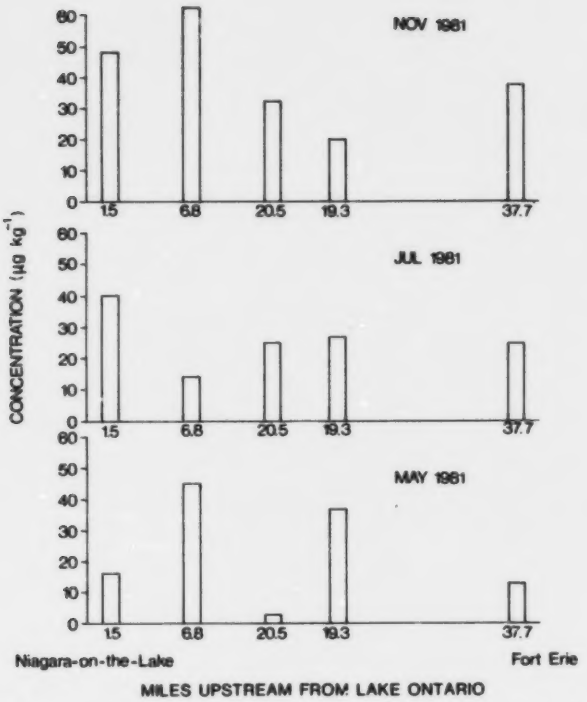


Figure 73. Distribution of total DDT (µg kg^{-1}) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

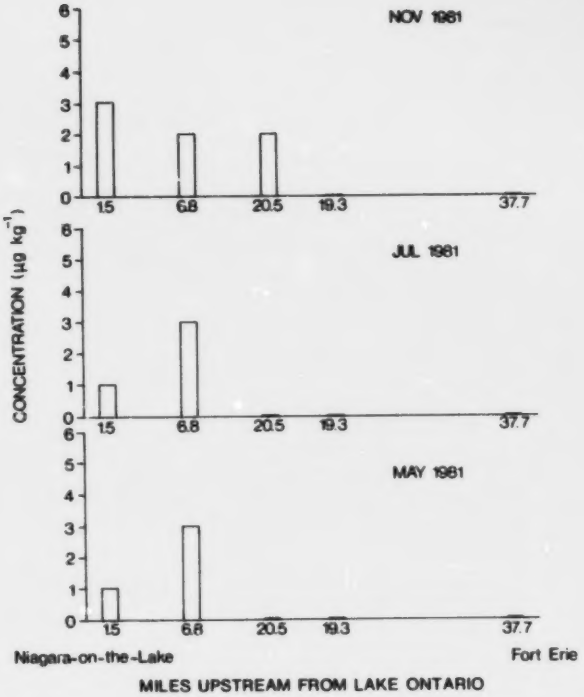


Figure 74. Distribution of mirex (µg kg^{-1}) in suspended sediments of the Niagara River, May 1981.

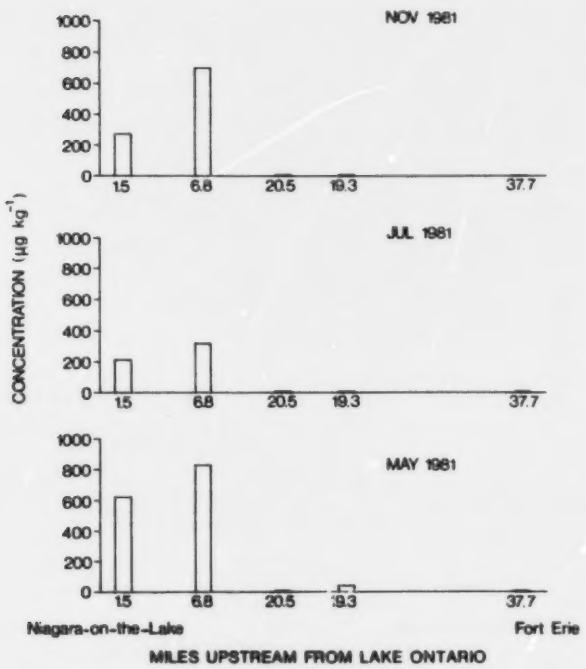


Figure 75. Distribution of total PCBs (µg kg^{-1}) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

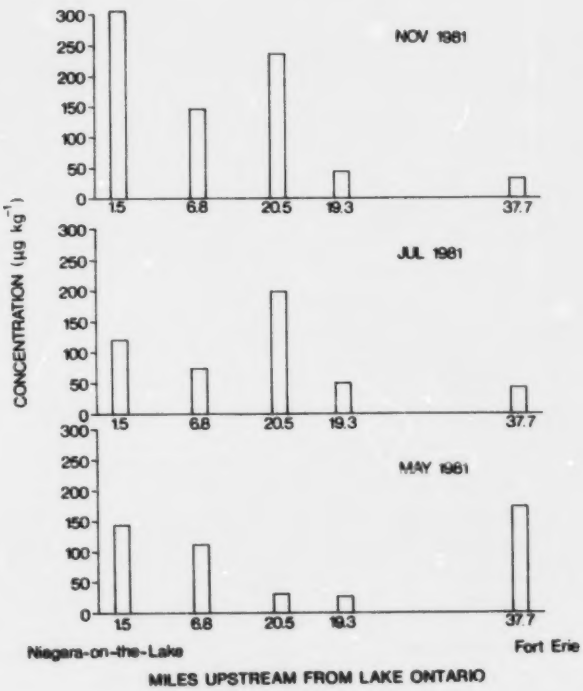


Figure 76. Distribution of dichlorobenzenes (µg kg^{-1}) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

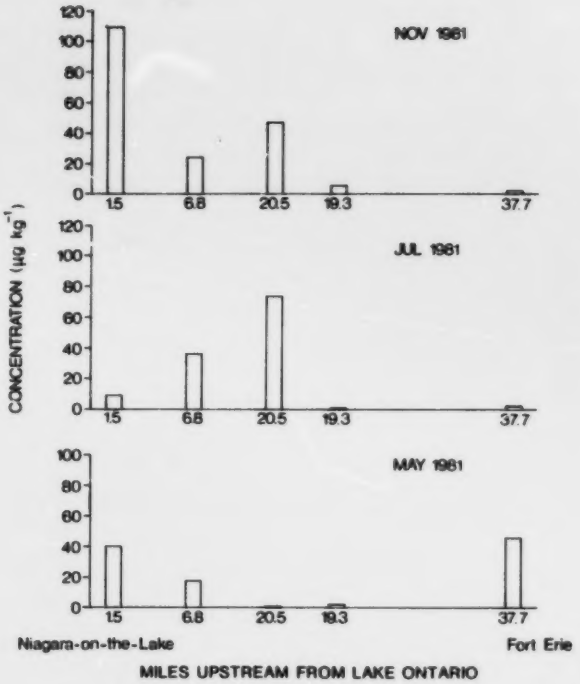


Figure 77. Distribution of trichlorobenzenes (µg kg^{-1}) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

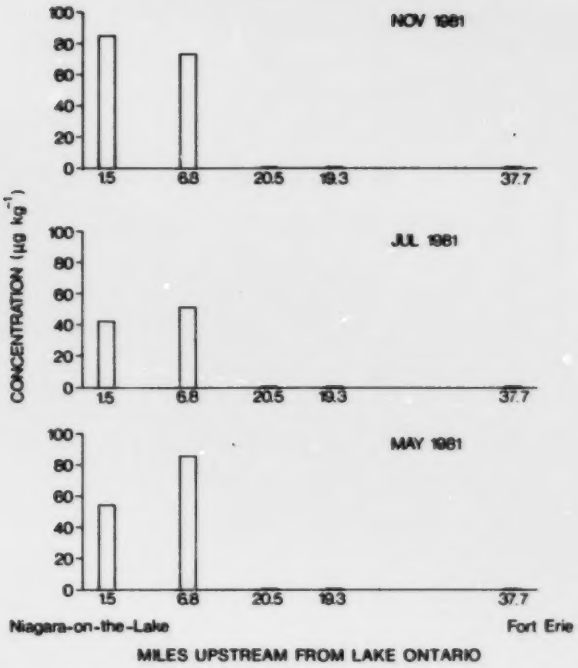


Figure 78. Distribution of tetrachlorobenzenes (µg kg^{-1}) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

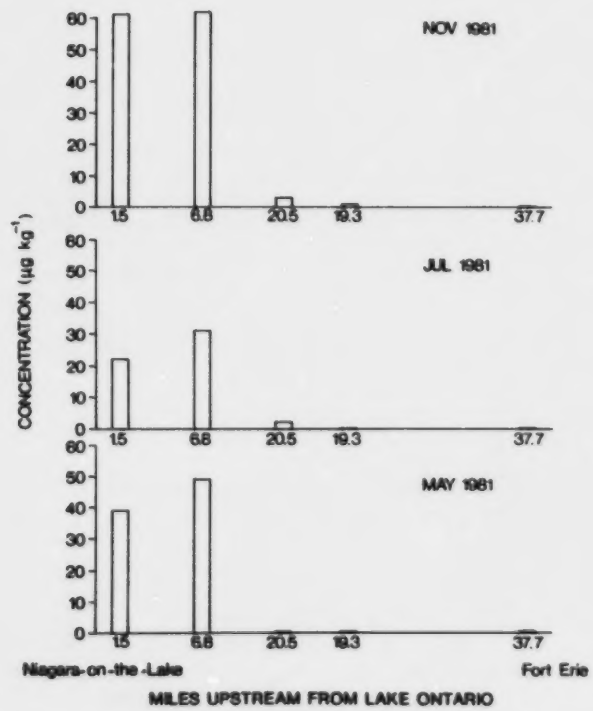


Figure 79. Distribution of pentachlorobenzenes (µg kg^{-1}) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

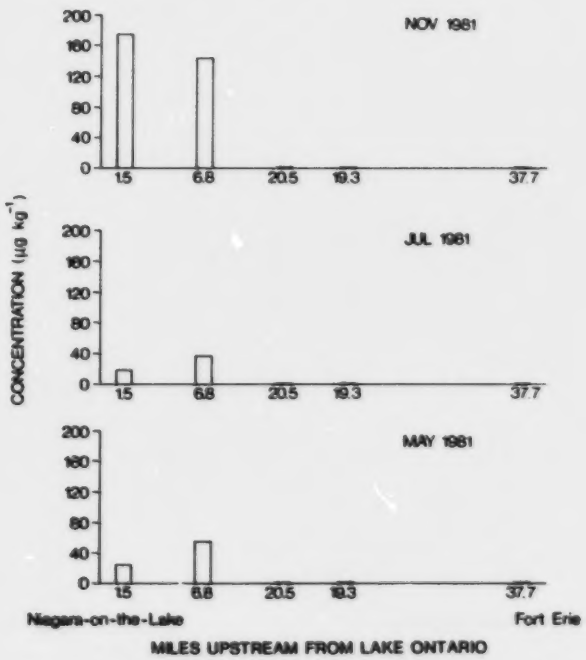


Figure 80. Distribution of hexachlorobenzenes (µg kg^{-1}) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

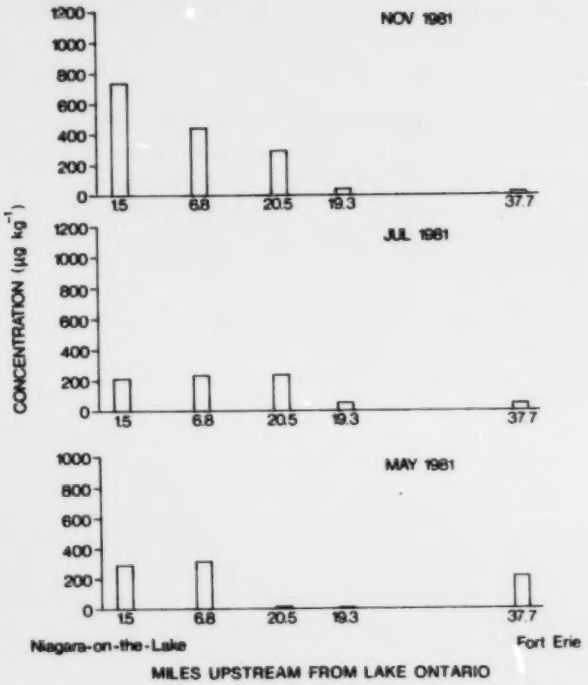


Figure 81. Distribution of total chlorobenzenes (µg kg^{-1}) in suspended sediments of the Niagara River, 1981.

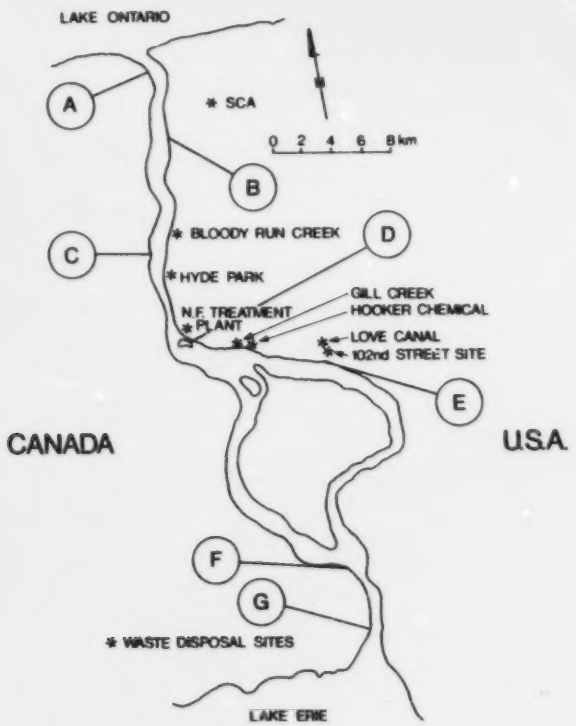


Figure 82. Sampling locations on the Niagara River for spottail shiners, September 1982.

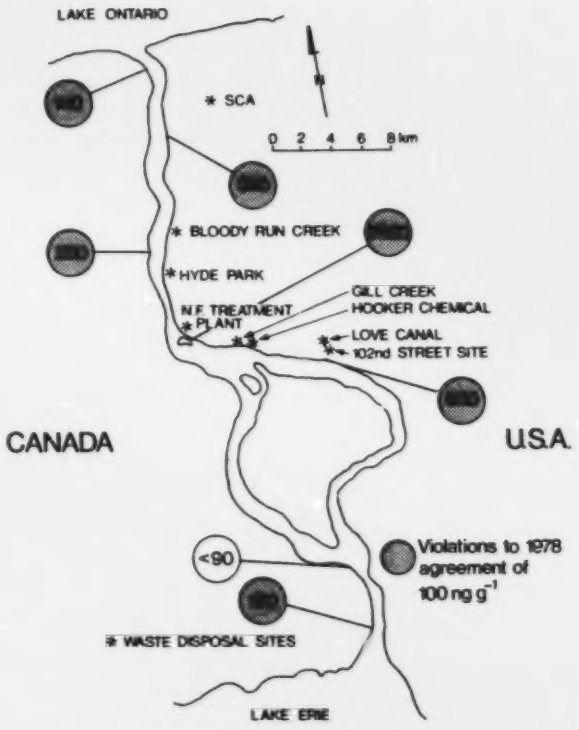


Figure 83. Total PCBs (ng g^{-1}) in spottail shiners in the Niagara River, September 1982.

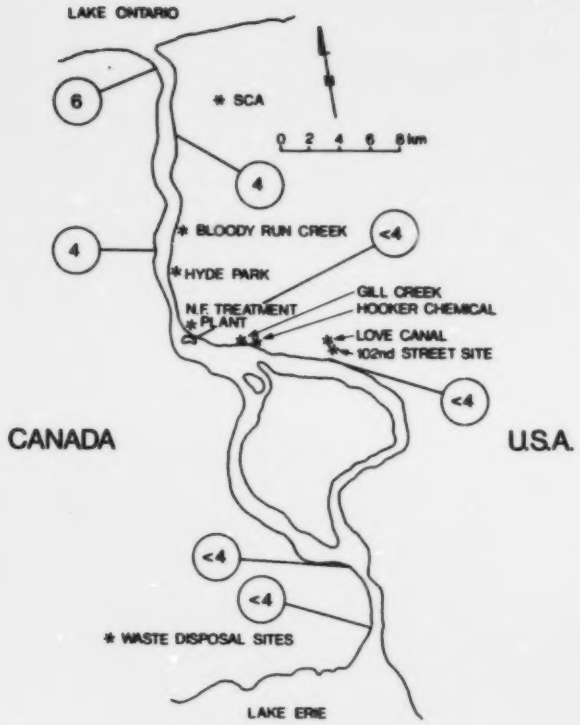


Figure 84. Mirex (ng g^{-1}) in spottail shiners in the Niagara River, September 1982.

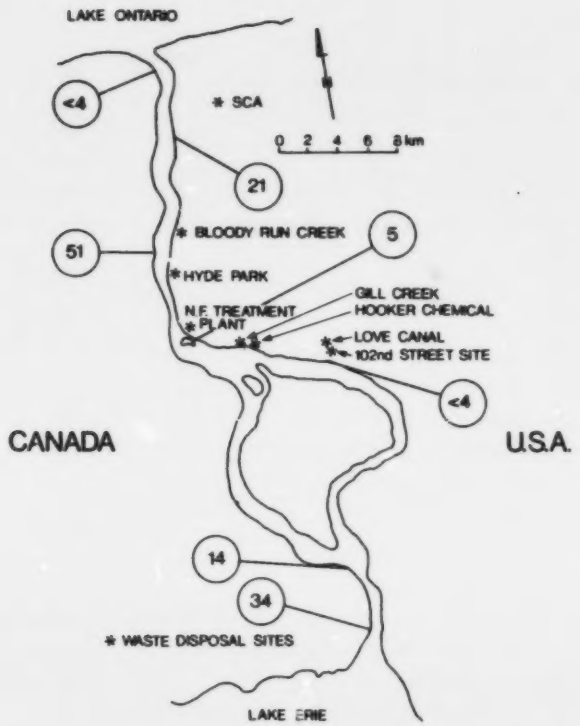


Figure 85. Total DDT (ng g^{-1}) in spottail shiners in the Niagara River, September 1982.

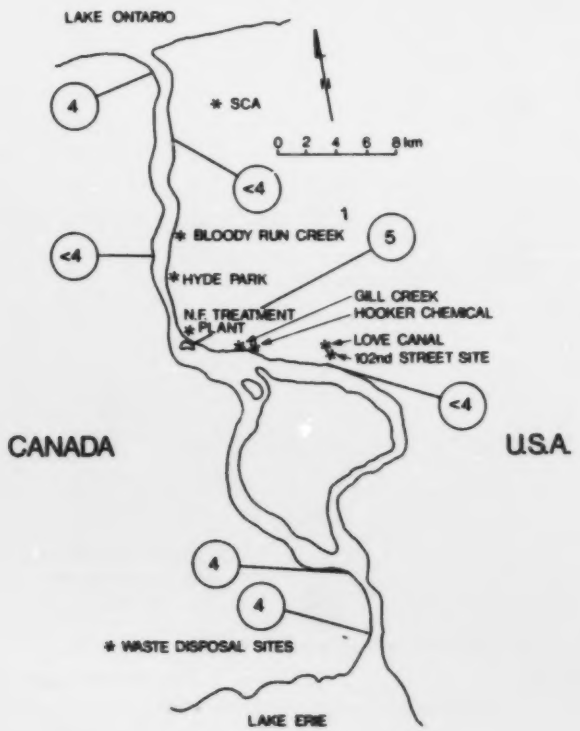


Figure 86. Dieldrin (ng g^{-1}) in spottail shiners in the Niagara River, September 1982.

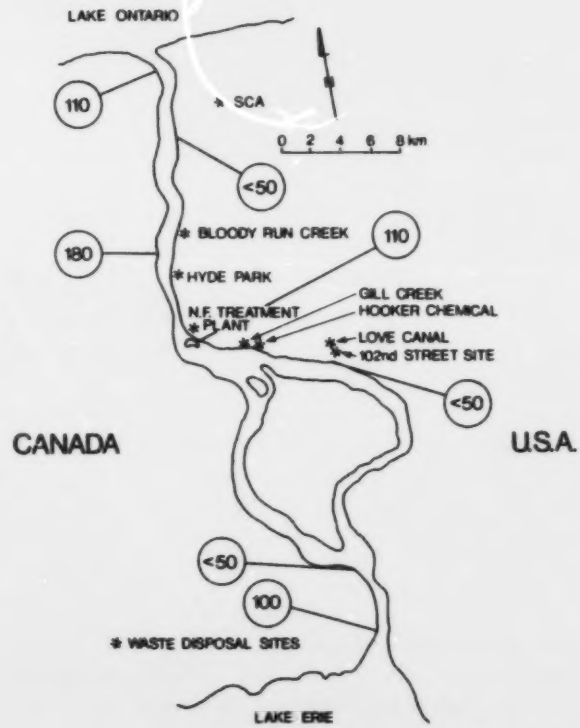


Figure 87. 1,4-Dichlorobenzene (ng g^{-1}) in spottail shiners in the Niagara River, September 1982.

References

Chan, C.H. 1977. Water Quality Surveys of the Niagara River – 1974. Rep. Ser. No. 48, Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ontario Region, Burlington, Ontario.

Environment Canada. 1979. *Analytical Methods Manual*. Water Quality Branch, Inland Waters Directorate, Ottawa.

Frank, R., R.L. Thomas, M. Holdrinet, A.L.W. Kemp and H.E. Braun. 1979. Organochlorine insecticides and PCB in surficial sediments (1968) and sediment cores (1976) from Lake Ontario. J. Great Lakes Res. 5(1): 18-27.

Frank, R., R.L. Thomas, M. Holdrinet, R.K. McMillan, H.E. Braun and R. Dawson. 1981. Organochlorine residues in suspended solids collected from the mouths of Canadian streams flowing into the Great Lakes, 1974-77. J. Great Lakes Res. 7(4): 363-381.

Hallett, D.J. and R.J. Norstrom. 1977. Mirex, chlordane, dieldrin, DDT and PCBs: Metabolites and photoisomers in Lake Ontario herring gulls. *In* Fate of Pesticides in Large Animals, Academic Press, N.Y.

Interagency Task Force on Hazardous Wastes. March 1979. Draft report on hazardous waste disposal in Erie and Niagara counties, New York.

International Joint Commission. 1951. Report of the International Joint Commission of the United States and Canada on the Pollution of Boundary Waters. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

International Joint Commission. 1967. Summary Report on Pollution of the Niagara River. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

International Joint Commission. 1971. Summary Report on Pollution Abatement Progress in the Niagara River Area. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

Kaiser, K.L.E. 1974. Mirex, an unrecognized contaminant of fishes from Lake Ontario. Science, 185: 523-525.

Kuntz, K.W. and C.H. Chan. 1982. Water quality of the upper Niagara River, 1975 and 1979. Sci. Ser. No. 129, Inland Waters Directorate, Ontario Region, Burlington, Ontario.

Kuntz, K.W. and N.D. Warry. 1983. Chlorinated organic contaminants in water and suspended sediments of the lower Niagara River. J. Great Lakes Res. In press.

McCrea, R.C. 1982. Development of an Aqueous Phase Liquid-Liquid Extractor (APLE). Interim report. Inland Waters Directorate, Ontario Region, Burlington, Ontario.

Oliver, B.G. and K.D. Nicol. 1982. Chlorobenzenes in sediments, water and selected fish from Lakes Superior, Huron, Erie and Ontario. Environ. Sci. Technol. 16(8): 532-536.

Suns, K. and G.A. Rees. 1978. Organochlorine contaminant residues in young-of-the-year spottail shiners from Lakes Ontario, Erie and St. Clair. J. Great Lakes Res. 4(2): 230-233.

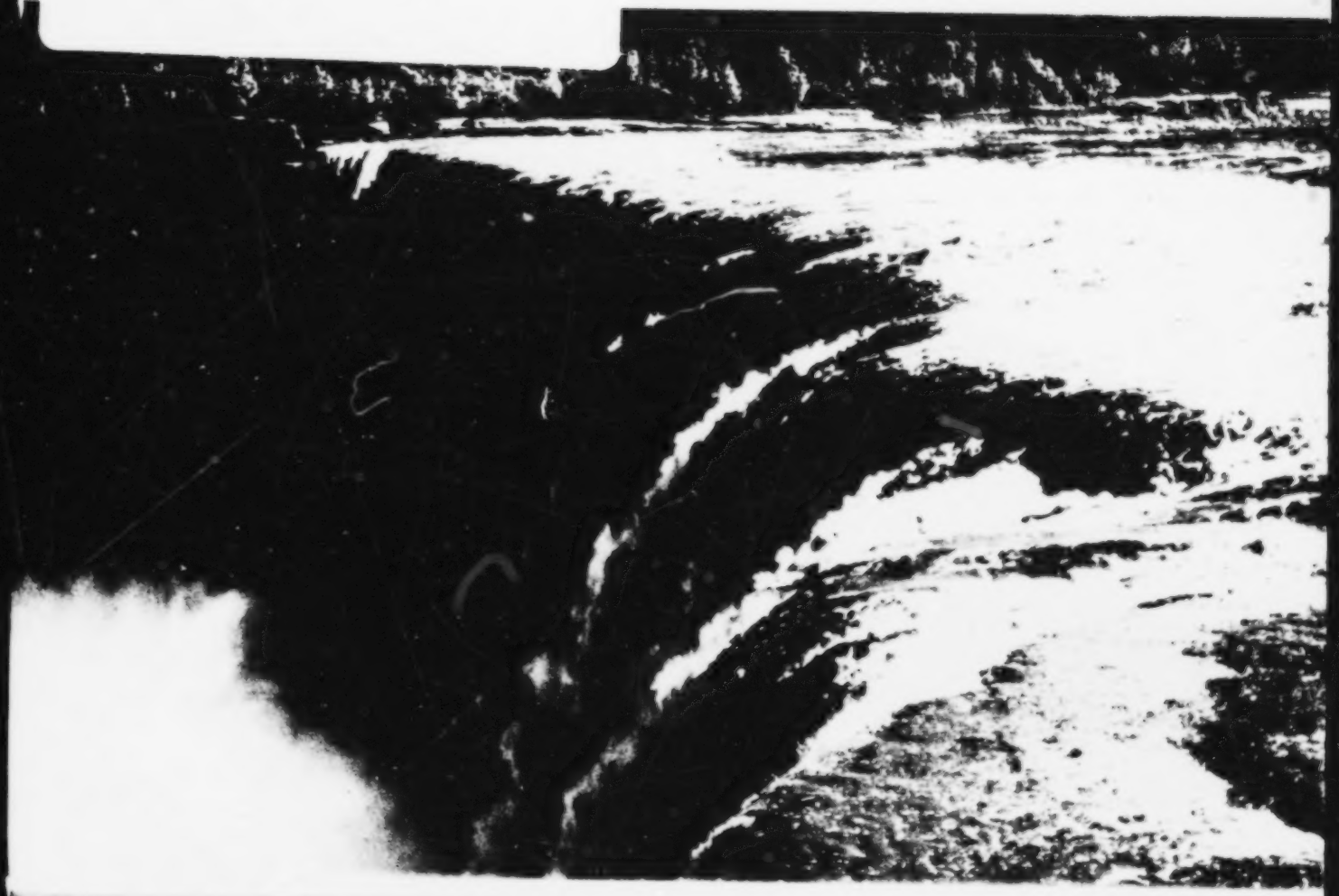
United States Environmental Protection Agency. 1979. Water Related Environmental Fate of 129 Priority Pollutants, Vols. I and II.

Warry, N.D. and C.H. Chan. 1981. Organic contaminants in the suspended sediments of the Niagara River. J. Great Lakes Res. 7(4): 394-403.

Environment Canada

Les contaminants toxiques de la rivière Niagara, 1975–1982

K.W. Kuntz



ÉTUDE N° 134, COLLECTION DES RAPPORTS TECHNIQUES

DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES
RÉGION DE L'ONTARIO
DIRECTION DE LA QUALITÉ DES EAUX
BURLINGTON (ONTARIO) 1985

(Available in English on request)

Canada

Environnement Canada
Environment Canada

Les contaminants toxiques de la rivière Niagara, 1975–1982

K.W. Kuntz

ÉTUDE Nº 134, COLLECTION DES RAPPORTS TECHNIQUES

DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES
RÉGION DE L'ONTARIO
DIRECTION DE LA QUALITÉ DES EAUX
BURLINGTON (ONTARIO) 1985

(Available in English on request)

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1985

Nº de cat. En 36-503/134F

ISBN 0-662-93265-X

Table des matières

	Page
RÉSUMÉ	ix
ABSTRACT	ix
REMERCIEMENTS	x
SOMMAIRE	xi
1. INTRODUCTION	1
2. MESURES RÉALISÉES À NIAGARA-ON-THE-LAKE	3
Eaux naturelles	3
Métaux à l'état de trace	3
Apports de métaux à l'état de trace vers le lac Ontario	3
Contaminants organiques dans les eaux naturelles	3
Apports de contaminants organiques vers le lac Ontario	5
Sédiments en suspension	7
Métaux à l'état de trace dans les sédiments en suspension	7
Organochlorés dans les sédiments en suspension	8
Pesticides chlorés et BPC	8
Dérivés chlorés du benzène	8
Autres contaminants organiques : aromatiques polycycliques et phtalates	9
Résumé	9
3. RÉPARTITION DANS LA RIVIÈRE NIAGARA	11
Eaux naturelles	11
Métaux à l'état de trace	11
Contaminants organiques dans les eaux naturelles (tout-venant)	13
Contaminants organiques dans les eaux naturelles (fraction aqueuse — échantillons APLE)	14
Discussion des paramètres mesurés	14
Sédiments du lit	16
Métaux à l'état de trace	16
Méthodes de prélèvement	16
Corrélations entre les métaux et les caractéristiques des sédiments du lit de la rivière Niagara	18
Contaminants organiques dans les sédiments du lit	19
Corrélations entre les matières organiques et les caractéristiques des sédiments du lit de la rivière Niagara	21
Sédiments en suspension	21
Concentrations de sédiments en suspension	21
Métaux dans les sédiments en suspension	22
Contaminants organiques dans les sédiments en suspension	22
Biote — queue à tache noire (*Notropis Hudsonius*)	24
Capture et analyse	25
Contaminants organiques chez le queue à tache noire	25
Résumé	26
RÉFÉRENCES	51

Tableaux

		Page
1.	Activités de la RODQE sur la rivière Niagara	1
2.	Concentrations médianes des métaux à l'état de trace dans la rivière Niagara à Niagara-on-the-Lake, 1975–1982	4
3.	Pourcentage d'échantillons hebdomadaires d'eau enfreignant les objectifs de l'Accord de 1978, prélevés dans la rivière Niagara à Niagara-on-the-Lake, 1975–1982	4
4.	Apports annuels de métaux totaux à l'état de trace vers le lac Ontario, via la rivière Niagara, mesurés à Niagara-on-the-Lake, 1975–1982	4
5.	Concentrations d'organochlorés dans les eaux naturelles à Niagara-on-the-Lake, 1980–1982	5
6a.	Apports d'organochlorés vers le lac Ontario via la rivière Niagara, 1979–1981	5
6b.	Apports totaux d'organochlorés vers le lac Ontario via la rivière Niagara	5
6c.	Apports d'organochlorés vers le lac Ontario par les sédiments en suspension de la rivière Niagara	6
7.	Apports des dérivés chlorés du benzène vers le lac Ontario par les sédiments en suspension de la rivière Niagara	6
8a.	Concentrations de métaux extractibles dans les sédiments en suspension à Niagara-on-the-Lake	7
8b.	Concentrations de métaux totaux dans les sédiments en suspension à Niagara-on-the-Lake	7
8c.	Apports de métaux totaux vers le lac Ontario par les sédiments en suspension dans la rivière Niagara	7
8d.	Contribution en métaux des sédiments en suspension de la rivière Niagara à l'apport total vers le lac Ontario en 1982	8
9.	Concentrations d'organochlorés dans les sédiments en suspension à Niagara-on-the-Lake, 1979–1981	8
10.	Concentrations de dérivés chlorés du benzène dans les sédiments en suspension à Niagara-on-the-Lake, 1980	9
11.	Concentrations de phtalates et d'aromatiques polycycliques dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara à Niagara-on-the-Lake	9
12.	Stations d'échantillonnage dans le cours supérieur de la rivière Niagara, 1975 et 1979	11
13.	Concentrations moyennes de métaux à l'état de trace dans le cours supérieur de la rivière Niagara, 1975 et 1979	12
14.	Pourcentage des cas où les concentrations de métaux à l'état de trace sont supérieures à l'objectif de la CMI, en 1975 et 1979, dans le cours supérieur de la rivière Niagara	12
15.	Concentrations de contaminants organiques dans le cours supérieur de la rivière Niagara, 1979	13
16	Concentrations des contaminants organiques dans les échantillons d'eau (tout-venant) de la rivière Niagara, 1981	14
17.	Répartition des organochlorés dans la fraction aqueuse des prélèvements dans la rivière Niagara, 1981	15
18.	Description des sédiments du lit de la rivière Niagara, en son cours inférieur	16
19.	Description des sédiments du lit de la rivière Niagara, en son cours supérieur	17
20.	Caractéristiques des sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981	17
21a	Matrice de corrélation entre les variables incluant les métaux à l'état de trace des sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981	19
21b.	Matrice de corrélation entre les variables incluant les contaminants organiques des sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981	19

Tableaux (suite)

Page

22. Caractéristiques des sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 ... 21
23a. Synopsis du pourcentage de cas ou on a décelé des résidus de pesticides et de BPC totaux et des concentrations moyennes de ces résidus dans les sédiments en suspension à deux stations de la rivière Niagara, avril 1979 – avril 1980 ... 23
23b. Moyennes révisées, après exclusion des valeurs élevées ... 23
24. Répartition des organochlorés dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 ... 23
25. Description des stations de capture de queues à tache noire dans la rivière Niagara, 1982 ... 25
26. Métaux à l'état de trace chez le queue à tache noire dans la rivière Niagara, septembre 1982 ... 26

Illustrations

Figure 1. Emplacement du poste d'échantillonnage de la rivière Niagara à Niagara-on-the-lake ... 3
Figure 2. Emplacement des stations d'échantillonnage dans le cours supérieur de la rivière Niagara ... 28
Figure 3. Concentrations moyennes de fer total dans le cours supérieur de la rivière Niagara, 1979 ... 28
Figure 4. Effets des orages de décembre 1979 sur les paramètres observés à la station 20.5A, dans le cours supérieur de la rivière Niagara ... 28
Figure 5. Emplacement des stations d'échantillonnage de la rivière Niagara : mai 1981, métaux à l'état de trace ... 29
Figure 6. Concentrations de fer total dans l'eau de la rivière Niagara, mai 1981 ... 29
Figure 7. Concentrations de zinc total dans l'eau de la rivière Niagara, mai 1981 ... 29
Figure 8. Concentrations de cuivre total dans l'eau de la rivière Niagara, mai 1981 ... 29
Figure 9. Concentrations d'aluminium extractible dans l'eau de la rivière Niagara, mai 1981 ... 30
Figure 10. Concentrations de chrome total dans l'eau de la rivière Niagara, mai 1981 ... 30
Figure 11. Concentrations de plomb total dans l'eau de la rivière Niagara, mai 1981 ... 30
Figure 12. Concentrations de nickel total dans l'eau de la rivière Niagara, mai 1981 ... 30
Figure 13. Emplacement des stations de prélèvement d'eau (tout-venant) et de gros échantillons de la phase aqueuse dans la rivière Niagara, 1981 ... 31
Figure 14. Répartition du α-BHC dans l'eau de la rivière Niagara, 1981 ... 31
Figure 15. Répartition du γ-BHC dans l'eau de la rivière Niagara, 1981 ... 31
Figure 16. Répartition de l'heptachlore-époxyde dans l'eau de la rivière Niagara, 1981 ... 32
Figure 17. Répartition de l'endrine dans l'eau de la rivière Niagara, 1981 ... 32
Figure 18. Répartition de la dieldrine dans l'eau de la rivière Niagara, 1981 ... 32
Figure 19. Répartition du p,p'-DDT dans l'eau de la rivière Niagara, 1981 ... 32

Illustrations (suite)

Page

Figure 20. Répartition du p,p'-DDE dans l'eau de la rivière Niagara, 1981 33
Figure 21. Répartition du p,p'-TDE dans l'eau de la rivière Niagara, 1981 33
Figure 22. Répartition de DDT total dans l'eau de la rivière Niagara, 1981 33
Figure 23. Répartition des BPC totaux dans l'eau de la rivière Niagara, 1981 33
Figure 24. Stations d'échantillonnage des sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 34
Figure 25. Échantillonneur (USBM-54) utilisé pour prélever les sédiments du lit de la rivière Niagara, 1981 34
Figure 26. Répartition de l'argile et du limon (pourcentage) dans le lit de la rivière Niagara, mai 1981 35
Figure 27. Répartition du sable (pourcentage) dans le lit de la rivière Niagara, mai 1981 35
Figure 28. Répartition des matières volatiles (pourcentage) dans le lit de la rivière Niagara, mai 1981 35
Figure 29. Répartition du cadmium extractible dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 35
Figure 30. Répartition du chrome extractible dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 36
Figure 31. Répartition du cobalt extractible dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 36
Figure 32. Répartition du cuivre extractible dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 36
Figure 33. Répartition du plomb extractible dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 36
Figure 34. Répartition du nickel extractible dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 37
Figure 35. Répartition du zinc extractible dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 37
Figure 36. Répartition du mercure total dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 37
Figure 37. Répartition de l'arsenic total dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 37
Figure 38. Répartition du sélénium total dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 38
Figure 39. Répartition du carbone organique (pourcentage) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 38
Figure 40. Répartition de l'azote organique dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 38
Figure 41. Répartition du α-BHC (lindane) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 38
Figure 42. Répartition du γ-BHC (lindane) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 39
Figure 43. Répartition de l'heptachlore-époxyde dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 39
Figure 44. Répartition du α-chlordane dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 39
Figure 45. Répartition du γ-chlordane dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 39
Figure 46. Répartition du α-endosulfan dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 40

Illustrations (suite)

Page

Figure 47. Répartition du β-endosulfan dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 40
Figure 48. Répartition du p,p'-DDT dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 40
Figure 49. Répartition du p,p'-DDE dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 40
Figure 50. Répartition du p,p'-TDE dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 41
Figure 51. Répartition de la dieldrine dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 41
Figure 52. Repartition de l'endrine dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 41
Figure 53. Répartition du mirex dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 41
Figure 54. Répartition du méthoxychlore dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 42
Figure 55. Répartition des BPC totaux dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 42
Figure 56. Répartition des dichlorobenzènes dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 42
Figure 57. Répartition des trichlorobenzènes dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 42
Figure 58. Répartition des tétrachlorobenzènes dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 43
Figure 59. Répartition du pentachlorobenzène dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 43
Figure 60. Répartition de l'hexachlorobenzène dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981 43
Figure 61. Répartition des sédiments en suspension dans la rivière Niagara, mai 1981 44
Figure 62. Répartition du mercure total dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 44
Figure 63. Répartition de l'arsenic total dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 44
Figure 64. Répartition du carbone organique (pourcentage) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 44
Figure 65. Répartition de l'azote organique (pourcentage) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 45
Figure 66. Répartition du α-BHC dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 45
Figure 67. Répartition de l'heptachlore-époxyde dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 45
Figure 68. Répartition du α-chlordane dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 45
Figure 69. Répartition du α-endosulfan dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 46
Figure 70. Répartition de la dieldrine dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 46
Figure 71. Répartition du p,p'-DDT dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 46

Illustrations (suite)

Page

Figure 72. Répartition du p,p'-DDE dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 46
Figure 73. Répartition du DDT total dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 47
Figure 74. Répartition du mirex dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 47
Figure 75. Répartition des BPC totaux dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 47
Figure 76. Répartition des dichlorobenzènes dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 47
Figure 77. Répartition des trichlorobenzènes dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 48
Figure 78. Répartition des tétrachlorobenzènes dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 48
Figure 79. Répartition des pentachlorobenzènes dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 48
Figure 80. Répartition des hexachlorobenzènes dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 48
Figure 81. Répartition de l'ensemble des dérivés chlorés du benzène dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 49
Figure 82. Stations de capture de queues à tache noire dans la rivière Niagara, septembre 1982 49
Figure 83. BPC totaux chez le queue à tache noire de la rivière Niagara, 1982 49
Figure 84. Mirex chez le queue à tache noire de la rivière Niagara, septembre 1982 50
Figure 85. DDT total chez le queue à tache noire de la rivière Niagara, septembre 1982 50
Figure 86. Dieldrine chez le queue à tache noire de la rivière Niagara, septembre 1982 50
Figure 87. Dichloro-1,4 benzène chez le queue à tache noire de la rivière Niagara, septembre 1982 50

Résumé

Entre 1975 et 1982, la Direction de la qualité des eaux, région de l'Ontario, a prélevé des échantillons d'eau dans la rivière Niagara. Le présent rapport résume le résultat des contrôles des contaminants toxiques et des métaux à l'état de trace. Différents types d'échantillons, dont des échantillons d'eau non filtrée, de sédiments en suspension, de sédiments du lit et de queues à tache noire (*Notropis hudsonius*) ont été analysés en regard de ces constituants. De plus, on a prélevé des échantillons volumineux (200 L) d'eau en vue d'y déceler des contaminants organiques toxiques. Les données ont été subdivisées en deux grandes catégories : 1) celles qui proviennent de la station fixe de Niagara-on-the-Lake et 2) celles de différentes stations le long de la rivière Niagara. Les cas de non-respect de certains objectifs précis de l'Accord de 1978 relatif à la qualité de l'eau dans les Grands lacs ou des lignes directrices du ministère de l'Environnement de l'Ontario ont été notés, et les apports vers le lac Ontario ont été calculés et sont communiqués.

Abstract

Between 1975 and 1982, Water Quality Branch, Ontario Region, collected water quality samples in the Niagara River system. This report summarizes the results obtained for toxic contaminants and trace metals from these monitoring activities. Various types of samples, including unfiltered water samples, suspended and bottom sediments and spottail shiners (*Notropis hudsonius*), have been analyzed for these constituents. In addition, large-volume (200 L) aqueous phase water samples were extracted for toxic organic contaminants. Data have been subdivided into two major categories: (1) data collected at a single fixed station at Niagara-on-the-Lake and (2) data collected at various survey stations throughout the Niagara River system. Violations to the 1978 Great Lakes Water Quality Agreement specific objectives or Ontario Ministry of the Environment guidelines are indicated, and loadings to Lake Ontario have been calculated and presented.

Remerciements

Je remercie sincèrement tous ceux qui m'ont aidé à réaliser la présente étude, notamment le personnel de la Division du contrôle et des relevés de la Direction de la qualité des eaux (RODQE), qui a prélevé la plupart des échantillons et Rob Stevens qui les a minutieusement examinés. Je remercie aussi de façon spéciale le personnel du labcratoire de la RODQE qui a réalisé toutes les analyses. Je remercie aussi le capitaine et l'équipage de l'*Advent* ainsi que Barry Moore de la Section des opérations techniques du Centre canadien des eaux intérieures (CCEI), pour leur généreuse collaboration au cours des prélèvements de 1981. Je remercie aussi de façon spéciale M. Donnelly de la Section du dessin et de l'illustration du CCEI, auteur de toutes les figures et illustrations de l'étude, et K. Lum de l'Institut national de recherches sur les eaux, qui a analysé les métaux totaux dans les sédiments en suspension.

Sommaire

Le présent rapport résume les résultats des contrôles des contaminants toxiques et des métaux à l'état de trace réalisés par le bureau de la région de l'Ontario de la Direction de la qualité des eaux (RODQE), dans la rivière Niagara, entre 1975 et 1982. Ces résultats ont deux origines : 1) une station fixe à Niagara-on-the-Lake et 2) diverses stations réparties dans toute la rivière Niagara.

Station fixe

Métaux

Chaque semaine, depuis 1975, on a prélevé des échantillons d'eau non filtrée à Niagara-on-the-Lake. Le contrôle des métaux totaux à l'état de trace montre que, ces sept dernières années, leur apport ou leur concentration médiane annuelle ne semble pas avoir changé sauf en ce qui concerne le fer et l'aluminium, pour lesquels il y a eu augmentation jusqu'en 1981. Cette augmentation était due à des facteurs naturels, notamment à des vents plus forts au-dessus de la cuvette orientale du lac Érié, qui ont remis les sédiments en suspension.

Dans un certain nombre de cas, les objectifs précis de l'Accord de 1978 sur la qualité des eaux dans les Grands lacs (l'Accord de 1978) ont été enfreints, en ce qui concerne le fer, le cuivre et le cadmium, mais les causes en ont toujours été d'origine naturelle, habituellement la remise en suspension accrue des sédiments du lac Érié. À titre d'exemple, les données de 1980 indiquent que pour Cd, Fe et Cu, les objectifs ont été enfreints dans 2 %, plus de 50 % et 10 % des cas, respectivement.

Les objectifs du ministère de l'Environnement de l'Ontario (MEO) visant les déblais de dragage sont souvent enfreints dans les échantillons de sédiments en suspension prélevés à Niagara-on-the-Lake : plus de 70 % du temps dans le cas de Cd, Pb, Cu, Cr, Ni et Zn.

L'apport de métaux tels que Cr, Ni, Pb, Fe et Zn vers le lac Ontario provient presque complètement des sédiments en suspension plutôt que des métaux en dissolution. Cette contribution s'échelonne d'un minimum de 70 % (Cr) à un maximum de presque 100 % (Pb, Fe et Zn).

Composés organiques

On a mesuré 19 organochlorés dans les eaux brutes et les sédiments en suspension prélevés à Niagara-on-the-Lake. Les apports ont été calculés sous les formes en suspension et en dissolution. Cependant, l'apport relatif en suspension était moindre que prévu : plus de 40 % dans le cas du DDT total (surtout DDE), de l'hexachlorobenzène (HCB), des BPC totaux et du mirex; moins de 40 % dans le cas de tous les autres organochlorés. Ainsi, pour bien estimer l'apport total, l'analyse des échantillons d'eau doit se faire à des limites de détection très basses.

Des 19 organochlorés contrôlés de façon routinière dans l'eau naturelle (non filtrée) à Niagara-on-the-Lake, 8 ont été décelés dans plus de la moitié des échantillons (BPC totaux, α- et γ-BHC, dieldrine, HCB, α- et γ-chlordane, p,p'-DDE), les trois premiers ayant été décelés à des concentrations médianes supérieures à 1 ng L^{-1}.

À partir de ces données, on a calculé que l'apport de BPC vers le lac Ontario était supérieur à celui signalé précédemment (Frank et coll., 1979) toutefois, l'apport de mirex et de DDT total demeure à peu près identique (*id.*).

Parmi les 19 organochlorés échantillonnés dans les sédiments en suspension à Niagara-on-the-Lake, 11 (BPC totaux, HCB, p,p'-DDE, p,p'-DDT, mirex, α-BHC, dieldrine, γ-chlordane, p,p'-TDE, p,p'-méthoxychlore et α-chlordane) ont été décelés dans plus de la moitié des échantillons, les trois premiers à des concentrations médianes supérieures à 10 ng g^{-1}. Onze dérivés du chlorobenzène ont aussi été décelés dans les sédiments en suspension à Niagara-on-the-Lake. Le dérivé du chlorobenzène le plus utilisé (dichloro-1,4 benzène) (Oliver et Nicol, 1982) était aussi le plus abondant.

Stations diverses

Une série de prélèvements réalisés dans le cours supérieur de la rivière Niagara, en 1979, a montré qu'il existait des différences statistiquement significatives ($p \geq 0.05$) d'un point à un autre du chenal Tonawanda, en ce qui concerne le fer, le manganèse et le zinc totaux. La concentration de la plupart des métaux était

plus élevée dans ce chenal que dans le chenal Chippawa. Les infractions aux objectifs précis de l'Accord de 1978 sur la qualité des eaux dans les Grands lacs étaient fréquentes pour ce qui est du fer total, notamment au cours des événements pluvio-hydrologiques au-dessus de la cuvette orientale du lac Érié. D'autres paramètres tels que la turbidité, les coliformes et le phosphore total ont subi des augmentations importantes au cours de ces événements.

En mai 1981, au cours d'un contrôle des éléments à l'état de trace dans toute la rivière Niagara, on a observé plusieurs infractions aux objectifs de l'Accord de 1978. Dans une station (34.6B), immédiatement en aval de deux effluents de la Buffalo Sewer Authority, on a observé de telles infractions pour le zinc, le nickel, le cadmium et le cuivre.

Avant 1979, il était impossible de déceler beaucoup des organochlorés dans les eaux brutes de la rivière Niagara. En 1979, avec l'abaissement des limites de détection, on a pu déceler le lindane et le α-BHC dans plus de la moitié des échantillons prélevés. En 1981, on a décelé les BPC totaux et le α- et le γ-BHC dans plus de la moitié des échantillons prélevés, à des concentrations médianes supérieures à 1 ng L^{-1}.

Un nouvel échantillonneur (McCrea, 1982), capable d'extraire les matières organiques d'un échantillon d'eau de 200 L (définition opérationnelle), a servi, en 1981, aux contrôles de la Niagara. Les résultats ont montré que, dans l'eau de la rivière, les concentrations d'heptachlore-époxyde, de α-endosulfan, de BPC totaux, de p,p'-DDE, de γ-BHC et de tous les dérivés chlorés du benzène, sauf le dichlorobenzène, font plus que doubler entre l'entrée de la rivière, à Fort Érié, et son embouchure, à Niagara-on-the-Lake. Il existe donc entre ces deux points, des sources notables de ces composés.

Cinq grandes zones de contamination ont été déterminées au cours du contrôle des sédiments de 1981. Il s'agit de l'embouchure du Black Rock Canal à proximité du ruisseau Scajaquada, de la région de l'île Tonawanda, du Love Canal et de la rivière Little, de la rivière Buffalo, des parages de l'île Strawberry et de la région de Queenston. Dans beaucoup de ces zones, on a observé des concentrations élevées de métaux, excédant souvent les critères du ministère de l'Environnement de l'Ontario concernant les déblais de dragage. Ces concentrations et le nombre d'infractions étaient constamment plus élevés du côté américain de la rivière. L'analyse granulométrique a montré certaines corrélations significatives entre les métaux, mais non entre les métaux et les taux d'argile et de limon, ce qui indique que les concentrations de métaux ne dépendent pas du pouvoir d'adsorption des sédiments mais plutôt d'autres facteurs tels que l'emplacement des sources ou la vitesse du courant dans les parties échantillonnées. On a aussi observé des concentrations élevées de contaminants organiques dans ces zones. Aucun de ces contaminants ni les caractéristiques d'adsorption des sédiments telles que le pourcentage d'argile et de limon ou le pourcentage de matières volatiles ne sont significativement corrélatifs. Ceci porte à croire que les concentrations des contaminants ne dépendent pas de la nature des sédiments, mais plutôt de l'existence de sources dans les zones échantillonnées.

Les dosages des sédiments en suspension en cinq localités de la rivière, en 1981, ont montré que leur concentration était plus forte, presque le triple, à Niagara-on-the-Lake qu'à Fort Érié. L'accroissement résulte probablement de l'érosion, de l'affouillement du lit et des apports entre les deux points. Toutefois, la teneur des sédiments en suspension en carbone et en azote organiques, à Niagara-on-the-Lake, n'était que d'environ 40 % de celle qui a été observée à Fort Érié. Ceci montre que la rivière Niagara s'enrichit en matières inorganiques quelque part sur son cours. Les concentrations de mercure à Niagara-on-the-Lake étaient environ quatre fois plus élevées qu'à Fort Érié, ce qui indique la présence de sources de mercure le long de la rivière.

Certains des composés pour lesquels les sédiments en suspension du lac Érié semblent constituer une source notable vers la rivière Niagara sont le p,p'-DDE, le α-BHC, le p,p'-TDE, la dieldrine et le α-chlordane.

D'après une étude réalisée en 1979, les sédiments en suspension transportaient davantage de contaminants organiques dans le cours inférieur de la Niagara que dans son cours supérieur. Les données supplémentaires obtenues en 1981 le confirment, et il semble que les sédiments en suspension du cours inférieur étaient considérablement enrichis en matières organiques, notamment en BPC totaux, en p,p'-DDT, en α-endosulfan et en dérivés chlorés du benzène.

Vers la mi-septembre de 1982, on a capturé des queues à tache noire (*Notropis hudsonius*) à sept stations de la rivière Niagara. Dans plus de la moitié de

ces stations, on a décelé des BPC, du p,p'-DDE et de la dieldrine. Les concentrations de BPC enfreignaient partout les objectifs précis de l'Accord de 1978 (100 ng g $^{-1}$ dans le poisson) sauf à la station du ruisseau Frenchman. Des concentrations élevées de BPC ont été observées chez les queues à tache noire des stations de la décharge de la 102e rue (800 ng g $^{-1}$) et en aval de Hooker Chemical, à la station de recherche et de sauvetage immédiatement en amont des chutes américaines (2690 ng g $^{-1}$). Les concentrations de métaux chez les queues à tache noire étaient aussi élevées dans le cours inférieur de la rivière. Celles du cadmium étaient de deux à trois fois plus élevées, celles de nickel et de zinc quelque peu plus élevées et celles de plomb de trois à quatre fois plus élevées dans le cours inférieur que dans le cours supérieur.

Introduction

La contamination de la rivière Niagara inquiète depuis longtemps les organismes gouvernementaux et le public. Depuis le début des années 50, la Commission mixte internationale (CMI) a publié des rapports sur la pollution bactérienne, la pollution par le phénol et les huiles, les concentrations excessives de fer, de phosphore, de chlorures et de mercure ainsi que sur l'aspect repoussant des eaux causé par la mousse et l'altération de leur couleur (CMI, 1951, 1967 et 1971). Suite à la signature, par le Canada et les États-Unis, de l'Accord sur la qualité des eaux des Grands lacs de 1972, des progrès notables ont été réalisés dans la solution de beaucoup de ces problèmes, notamment grâce à une épuration et à un traitement accrus des rejets urbains et industriels, prescrits par des règlements plus stricts.

Toutefois, dès avant 1978, le public avait exprimé son inquiétude suite à la détection répétée de substances toxiques, rémanentes, capables de bioaccumulation, notamment des BPC et du mirex, dans les sédiments et les organismes vivants dans le lac Ontario (Kaiser, 1974; Hallett et Norstrom, 1977).

À la même époque, on constatait la gravité de la situation posée par le Love Canal, et de nombreuses autres décharges, y compris celles de Hyde Park, de la 102e rue et de la S-Area, étaient découvertes du côté américain de la rivière (Interagency Task Force, 1979). Toutes ces décharges, signalait-on, renfermaient des substances chimiques toxiques.

Pour s'acquitter en partie des engagements que le Canada avait contractés pour la surveillance et le contrôle de la qualité des eaux, en vertu de l'Accord de 1972, la Direction de la qualité des eaux (DQE) de la Direction générale des eaux intérieures d'Environnement Canada, région de l'Ontario, a entrepris d'importantes campagnes de surveillance de la qualité des eaux de la rivière Niagara, en 1975. De plus, un programme d'échantillonnage quotidien a été lancé à Niagara-on-the-Lake. L'emplacement stratégique de cette station permettait de déterminer de façon représentative le transport de matières entre les lacs Érié et Ontario (Chan, 1977). Au début, seuls des échantillons journaliers des éléments nutritifs et des échantillons hebdomadaires des principaux ions et des métaux à l'état de trace étaient prélevés pour répondre aux inquiétudes d'ordre écologique. L'attention s'étant détachée des problèmes posés par les polluants ordinaires pour se porter sur ceux des contaminants organiques toxiques, le programme a été élargi de façon à englober un contrôle hebdomadaire des

Tableau 1. Activités de la RODQE sur la rivière Niagara

Année	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Échantillonnage journalier de l'eau à Niagara-on-the-Lake	←pH, Contaminants, éléments nutritifs (par jour), principaux ions, métaux (hebdomadaire)→							
						←Contaminants organiques (hebdomadaire)→		
Sédiments en suspension à Niagara-on-the-Lake								
					←Métaux, matières organiques (hebdomadaire) ou (bihebdomadaire)→			
Contrôle de la qualité de l'eau dans l'ensemble de la rivière								
Eau	X				X		X	
Sédiments en suspension					X		X	
Sédiments du lit								

sédiments en suspension, comme source de matières organiques toxiques vers le lac Ontario.

Avec la publication, en 1979, du rapport de l'Interagency Task Force, les effets de ces matières chimiques toxiques sur la population et l'écosystème sont devenus un sujet important de préoccupation. Par conséquent, la RODQE a entrepris, en 1981, une étude extensive sur les toxiques présents dans l'eau, les sédiments en suspension et les sédiments du lit de la rivière Niagara.

Le présent rapport résume dans l'ensemble les réalisations de la DQE dans la rivière Niagara depuis 1975, et qui sont présentées synoptiquement dans le tableau 1. On a particulièrement insisté sur le contrôle, entre 1975 et 1982, des contaminants toxiques et des métaux à l'état de trace dans la rivière Niagara. Pour éviter de confondre le lecteur, les résultats sont donnés sous deux grandes rubriques : 1) ceux qui ont été obtenus à la station fixe de Niagara-on-the-Lake et 2) ceux qui ont été recueillis à diverses stations de la rivière Niagara.

Mesures réalisées à Niagara-on-the-Lake

EAUX NATURELLES

Métaux à l'état de trace

Depuis 1975, on a prélevé des échantillons hebdomadaires d'eau non filtrée, dans une station près de Niagara-on-the-Lake, en vue d'y doser les métaux à l'état de trace (fig. 1) : cadmium, chrome, cuivre, fer, plomb, manganèse, nickel et zinc totaux, mercure et aluminium extractibles. Les concentrations médianes annuelles de ces métaux sont données au tableau 2.

On a observé de fortes variations saisonnières du fer et de l'aluminium, qui semblent corrélées à des événements météorologiques naturels tels que de fortes pluies ou des vents violents. Cependant, malgré ces variations, la concentration de ces deux métaux a crû de façon uniforme jusqu'en 1981, où elle a subi une baisse notable. En 1982, la concentration de fer augmente encore pour atteindre une valeur un peu inférieure à celle de 1980. Une analyse des données, recueillies à l'aéroport de Buffalo par la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), révèle qu'en 1981, il n'y a eu que 6 jours pendant lesquels la vitesse moyenne des vents excédait 20 mi/h. Ceci représente une diminution lorsque comparée avec les années 1979 et 1980. En effet, en 1979 et 1980, le nombre de jours où la vitesse moyenne des vents était supérieure à 20 mi/h était de 12 et de 10, respectivement. Par ailleurs, ce nombre s'élevait à 33 jours en 1982.

Figure 1. Emplacement du poste d'échantillonnage de la rivière Niagara à Niagara-on-the-Lake.

Le pourcentage d'infractions aux objectifs de l'Accord de 1978 est donné dans le tableau 3 pour la période de 1975 à 1982. Le plus fort pourcentage a été observé pour le cuivre et le fer et, dans une certaine mesure, il est corrélé à des événements météorologiques tels que vents et pluies.

Apports de métaux à l'état de trace vers le lac Ontario

Les apports de métaux totaux à l'état de trace vers le lac Ontario ont été calculés à partir des résultats des prélèvements hebdomadaires effectués à Niagara-on-the-Lake depuis 1975. Ils sont donnés au tableau 4 et ils ont été obtenus par le produit de la concentration annuelle médiane de chaque métal par le débit moyen annuel de la rivière, tel que mesuré à Queenston par Environnement Canada (6448 m^3/s). Ces données indiquent qu'une augmentation marquée des apports de fer et d'aluminium totaux de 1975 à 1980 a été suivie d'une diminution en 1981 pour augmenter à nouveau en 1982. Probablement causées par les perturbations du lac Érié par le vent, ces augmentations, moins actives en 1981, ont repris de plus belle en 1982.

Contaminants organiques dans les eaux naturelles

Depuis 1980, on a contrôlé les contaminants organiques dans les eaux de la rivière Niagara, à Niagara-on-the-Lake. Plusieurs catégories de compo-

Tableau 2. Concentrations médianes (mg L^{-1}) des métaux à l'état de trace dans la rivière Niagara à Niagara-on-the-Lake, 1975-1982

Paramètre	1975 (19)*	1976 (51)	1977 (48)	1978 (43)	1979 (41)	1980 (62)	1981 (47)	1982 (52)
Fer	0.110	0.110	0.140	0.160	0.200	0.380	0.140	0.390
Aluminium	0.040	0.060	0.050	0.050	0.100	0.150	0.050	0.070
Manganèse	0.004	0.010	0.006	0.009	0.008	0.024	<0.010	<0.020
Nickel	0.002	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.001	0.001
Zinc	0.003	0.005	0.005	0.004	0.003	0.004	0.002	0.003
Cuivre	0.003	0.006	0.010	0.004	0.003	0.002	0.003	0.002
Chrome	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003	0.001	0.002
Plomb	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	<0.001
Cyanures	–	–	–	–	0.002	0.003	0.004	–
Cadmium	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Mercure	–	–	–	–	<0.000 05	<0.000 05	<0.000 05	<0.000 05
Arsenic	–	–	–	–	–	0.000 5	0.000 5	0.000 6

*Le nombre des observations est entre parenthèses.

Tableau 3. Pourcentage d'échantillons hebdomadaires d'eau enfreignant les objectifs de l'Accord de 1978, prélevés dans la rivière Niagara, à Niagara-on-the-Lake, 1975-1982

Paramètre	Objectifs précis de la CMI (1978) (mg L^{-1})	Pourcentage d'infractions à Niagara-on-the-Lake							
		1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Fer	0.300	0	20	15	19	41	52	13	52
Cuivre	0.005	16	61	79	40	33	11	19	27
Nickel	0.025	0	0	2	0	0	0	0	2
Zinc	0.030	0	0	2	0	0	0	0	0
Cadmium	0.0002	0	6	6	0	5	2	2	0
Chrome	0.100	0	0	0	0	0	0	0	0
Plomb	0.025	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 4. Apports annuels (t an^{-1}) de métaux totaux à l'état de trace vers le lac Ontario, via la rivière Niagara, mesurés à Niagara-on-the-Lake, 1975-1982

Paramètre	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Fer	22 400	22 400	28 500	32 560	40 700	77 330	28 490	79 360
Aluminium	8 150	12 200	10 200	10 200	20 300	30 530	10 200	14 240
Manganèse	810	2 040	1 220	1 830	1 630	4 880	2 040	<4 070
Nickel	410	610	610	410	610	610	200	200
Zinc	610	1 020	1 020	810	610	810	410	610
Cuivre	610	1 220	2 040	810	610	410	610	410
Chrome	410	200	410	200	200	610	200	410
Plomb	410	410	200	200	200	410	200	200
Cyanures	–	–	–	–	410	610	810	–
Cadmium	200	200	200	200	200	200	200	<200
Mercure	–	–	–	–	10	10	10	<10
Arsenic	–	–	–	–	–	100	100	120

Nota : Débit moyen pour 1975-1982 = 6448 $m^3 s^{-1}$.

sés, y compris les BPC et les pesticides chlorés, ont été contrôlés une fois par semaine ou une fois toutes les deux semaines. Les résultats pour 1980–1982 sont présentés au tableau 5.

Des 19 organochlorés contrôlés, 8 (BPC totaux, α- et γ-chlordane, dieldrine, HCB, α- et γ-BHC et p,p'-DDE) ont été décelés dans plus de la moitié des échantillons. Parmi ceux-ci, seuls les BPC totaux et le α- et le γ-BHC ont été décelés à des concentrations médianes supérieures à 1 ng L^{-1}.

Apports de contaminants organiques vers le lac Ontario

Les apports, vers le lac Ontario, de pesticides organochlorés et de BPC par les sédiments en suspension et l'eau totale (non filtrée) de la rivière Niagara à Niagara-on-the-Lake ont été calculés (tableau 6a). Les chiffres, tirés de Kuntz et Warry (1983), montrent que les apports de BPC sont supérieurs à ceux qui avaient déjà été signalés; ceux de mirex et de DDT total restent à peu près les mêmes. L'un des traits les plus frappants est que le pourcentage de l'apport attribuable aux sédiments en suspension n'est pas aussi important qu'on l'avait cru. Il est important pour le DDT (surtout sous la forme de DDE), le HCB, les BPC totaux et le mirex. Quant aux autres composés, il est inférieur à 25 %. Par conséquent, on ne peut pas bien estimer l'apport total de beaucoup de ces composés si on ne tient pas compte de la fraction aqueuse.

Les apports annuels d'organochlorés totaux vers le lac Ontario via la rivière Niagara pour 1980 à 1982 sont donnés, pour la fraction aqueuse et pour les sédiments en suspension, dans les tableaux 6b et 6c, respectivement. Ils ont été calculés par multiplication des concentrations médianes annuelles, de la concentration moyenne annuelle des sédiments et du débit moyen annuel.

Tableau 5. Concentrations (ng L^{-1}) d'organochlorés dans les eaux naturelles à Niagara-on-the-Lake, 1980–1982

Paramètre (75 échant.)	Concentrations confirmées			
	Pourcent	Médiane	C.M.	E.T.
BPC totaux	97	11.0	19.9	34.7
α-BHC	100	9.7	10.5	5.2
γ-BHC	99	1.8	2.1	1.5
Dieldrine	93	0.6	0.6	0.3
HCB	95	0.5	0.8	0.9
γ-Chlordane	68	0.3	0.5	0.8
α-Chlordane	64	0.2	0.3	0.3
p,p'-DDE	61	0.1	0.3	0.5
Heptachlore-époxyde	47	<0.1	0.5	1.0
p,p'-DDT	40	<0.1	0.2	0.5
β-Endosulfan	15	<0.1	0.1	0.4
α-Endosulfan	13	<0.1	0.1	0.4
Endrine	11	<0.1	<0.1	0.1
p,p'-TDE	9	<0.1	0.1	0.2
p,p'-Méthoxychlore	7	<0.1	0.1	0.3
o,p-DDT	1	<0.1	<0.1	–
Mirex	1	<0.1	<0.1	–
Aldrine	1	<0.1	<0.1	–
Heptachlore	0	<0.1	<0.1	–

C.M. – Concentration moyenne.
E.T. – Écart-type.
Nota : Les limites de détection ont été posées égales à zéro.
Source : Kuntz et Warry (1983).

Tableau 6a. Apports d'organochlorés vers le lac Ontario (kg an^{-1}) via la rivière Niagara, 1979–1981

Paramètre	Sédiments en suspension	Eau non filtrée (total)	Contribution des sédiments (%)
DDT total	41	20	>100
p,p'-DDE	31	20	>100
HCB	84	100	84
BPC totaux	850	2200	39
Mirex	8	20	<42
Méthoxychlore	3	20	<17
p,p'-TDE	3	20	<17
γ-Chlordane	3	60	6
Dieldrine	7	120	6
α-Chlordane	2	40	5
α-BHC	8	1940	3
o,p-DDT	10	<20	<50

Source : Kuntz et Warry (1983).

Tableau 6b. Apports totaux d'organochlorés* (kg an^{-1} eau non filtrée) vers le lac Ontario via la rivière Niagara

Paramètre	1980	1981	1982
BPC totaux	2 282	2 373	2 568
α-BHC	2 282	1 344	988
γ-BHC	415	218	197
Dieldrine	124	<79	<79
HCB	207	<79	<79
γ-Chlordane	<83	<79	<79
α-Chlordane	<83	<79	<79
p,p'-DDE	<83	<79	<79
Heptachlore-époxyde	<83	<79	<79
p,p'-DDT	<83	<79	<79
β-Endosulfan	<83	<79	<79
α-Endosulfan	<83	<79	<79
Endrine	<83	<79	<79
p,p'-TDE	<83	<79	<79
p,p'-Méthoxychlore	<83	<79	<79
o,p-DDT	<83	<79	<79
Mirex	<83	<79	<79
Aldrine	<83	<79	<79
Heptachlore	<83	<79	<79
Débit moyen (pi^3 s^{-1})	232 140	221 210	220 998
Débit moyen (m^3 s^{-1})	6 574	6 265	6 259

*Pour calculer les apports, on s'est servi des concentrations médianes.

L'apport estimatif annuel des dérivés chlorés du benzène (par les sédiments en suspension seulement) est donné au tableau 7; il se fonde sur les concentrations médianes. Les chiffres montrent qu'en 1980, des quantités notables de ces composés entraient dans le lac Ontario, via la rivière Niagara, sous forme liée aux sédiments en suspension.

Les dérivés chlorés du benzène ont été analysés en 1981 et 1982, dans les échantillons d'eau prélevés à Niagara-on-the-Lake. Toutefois, presque tous les résultats sont inférieurs aux limites de détection.

Tableau 6c. Apports d'organochlorés* vers le lac Ontario (kg an^{-1}) par les sédiments en suspension de la rivière Niagara

Paramètre	1979	1980	1981	1982
BPC totaux	727	780	464	655
HCB	91	62	50	23
p,p'-DDE	36	27	10	<2
p,p'-DDT	17	10	<1	<2
Mirex	10	8	3	13
α-BHC	10	4	4	11
Dieldrine	5	8	3	2
γ-Chlordane	<2	2	4	<2
p,p'-TDE	<2	6	5	<2
p,p'-Méthoxychlore	<2	4	<1	<2
α-Chlordane	2	2	4	<2
Heptachlore-époxyde	<2	2	<1	<2
α-Endosulfan	<2	<2	<1	<2
γ-BHC	<2	<2	<1	<2
o,p-DDT	<2	<2	<1	<2
Heptachlore	<2	<2	<1	<2
Aldrine	<2	<2	<1	<2
β-Endosulfan	<2	<2	<1	<2
Endrine	<2	<2	<1	<2
Débit moyen (pi^3 s^{-1})	222 558	232 140	221 210	220 998
Débit moyen (m^3 s^{-1})	6 303	6 574	6 265	6 259
Conc. moy. des sédiments (mg L^{-1})	8.6	9.4	6.9	10.7

*Pour calculer les apports, on s'est servi des concentrations médianes.

Tableau 7. Apports des dérivés chlorés du benzène (chlorobenzènes)* vers le lac Ontario (kg an^{-1}) par les sédiments en suspension de la rivière Niagara

Paramètre	1980	1981	1982
Di-1,3	176	2	2
Di-1,4	138	2	2
Di-1,2	156	2	2
Σ-Di	601	41	2
Tri-1,3,5	27	3	2
Tri-1,2,4	94	3	27
Tri-1,2,3	27	8	2
Σ-Tri	164	53	42
Tétra-1,2,4,5 + 1,2,3,5	39	18	11
Tétra-1,2,3,4	99	34	27
Σ-Tétra	146	44	32
Penta	78	25	29
Hexa	120	46	21
Total des chlorobenzènes	1 219	224	186
Débit moyen (pi^3 s^{-1})	232 140	221 210	220 998
Débit moyen (m^3 s^{-1})	6 574	6 265	6 259
Conc. moy. des sédiments (mg L^{-1})	9.4	6.9	10.7

*Pour calculer les apports, on s'est servi des concentrations médianes.

Tableau 8a. Concentrations ($\mu g\ g^{-1}$) de métaux extractibles dans les sédiments en suspension à Niagara-on-the-Lake

Paramètre	Objectif du MEO*	1978			1979–80			1981–82		
		Nbre d'observations	C.M.	E.T.	Nbre d'observations	C.M.	E.T.	Nbre d'observations	C.M.	E.T.
Cadmium	1	13	2.4	0.8	35	2.4	1.3	22	1.7	0.8
Plomb	50	13	80.0	28.6	35	58.0	18.9	22	51.3	28.0
Cobalt	50	13	6.6	3.3	35	6.5	2.3	22	3.4	0.8
Cuivre	25	13	46.0	15.1	35	44.0	37.0	22	29.8	12.0
Zinc	100	13	177.0	44.0	35	163.0	50.0	22	170.9	213.5
Nickel	25	13	29.0	16.0	35	24.0	12.0	22	13.6	2.8
Chrome	25	13	39.0	31.0	35	30.0	12.0	22	18.6	8.4

*Critère du ministère de l'Environnement de l'Ontario relativement aux déblais de dragage.
C.M. – Concentration moyenne.
E.T. – Écart-type.

Tableau 8b. Concentrations ($\mu g\ g^{-1}$) de métaux totaux dans les sédiments en suspension à Niagara-on-the-Lake*

Paramètre	Objectif du MEO†	1981			1982		
		Nbre d'observations	C.M.	E.T.	Nbre d'observations	C.M.	E.T.
Cadmium	1	14	7.3	4.0	27	4.7	5.2
Plomb	50	29	93	61	27	93	57
Cobalt	50	29	46	26	27	27	11
Cuivre	25	29	70	44	27	57	14
Zinc	100	29	308	191	27	318	246
Nickel	25	29	61	21	27	73	36
Chrome	25	29	134	65	27	130	60
Manganèse	–	29	2 414	2 647	27	874	249
Fer	10 000	12	44 000	33 000	26	37 000	9000

*Analyse réalisée par M. K. Lum de l'Institut national de recherches sur les eaux.
†Critère du ministère de l'Environnement de l'Ontario relativement aux déblais de dragage.
C.M. – Concentration moyenne.
E.T. – Écart-type.

Tableau 8c. Apports de métaux totaux* ($t\ an^{-1}$) vers le lac Ontario par les sédiments en suspension dans la rivière Niagara

Paramètre	1981	1982
Cadmium	10	10
Plomb	127	197
Cobalt	63	57
Cuivre	95	120
Zinc	420	673
Nickel	83	154
Chrome	183	275
Manganèse	3 290	1 850
Fer	60 000	78 300
Débit moyen ($pi^3\ s^{-1}$)	221 210	220 998
Débit moyen ($m^3\ s^{-1}$)	6 265	6 259
Conc. moy. des sédiments ($mg\ L^{-1}$)	6.9	10.7

*Pour calculer les apports, on s'est servi des concentrations moyennes.

SÉDIMENTS EN SUSPENSION

Métaux à l'état de trace dans les sédiments en suspension

Les résultats des dosages du cadmium, du cobalt, du plomb, du chrome, du cuivre, du nickel et du zinc, après extraction au HCl 0.5 *N*, sont présentés au tableau 8a. Ils n'ont montré aucune répartition saisonnière notable. La plupart du temps, chacun de ces métaux, sauf le cobalt, enfreignait les critères du ministère de l'Environnement de l'Ontario (MEO) concernant les déblais de dragage.

Les métaux totaux dans les sédiments en suspension, à Niagara-on-the-Lake, ont aussi été dosés

Tableau 8d. Contribution en métaux, des sédiments en suspension (S.S.) de la rivière Niagara, à l'apport total vers le lac Ontario, 1982

Paramètre	Apport total vers lac Ontario (t an^{-1})	Métaux extractibles dans S.S. (t an^{-1})	Métaux extractibles dans S.S. dans apport total (%)	Total des métaux dans S.S. (t an^{-1})	Total des métaux dans S.S. dans apport total (%)
Cadmium	<200	4	⩾2	10	⩾5
Cuivre	410	63	15	120	29
Manganèse	<4 070	–	–	1 850	45
Chrome	410	39	10	275	69
Nickel	200	29	14	154	77
Plomb	200	108	54	197	98
Fer	79 360	–	–	78 300	99
Zinc	610	361	59	673	>100

grâce à la généreuse collaboration de M. K. Lum de l'Institut national de recherches sur les eaux (INRE), en 1981 et 1982. À cause de l'emploi d'agents d'extraction plus puissants, les résultats sont considérablement supérieurs à ceux qu'on obtient pour les métaux extractibles (tableau 8b). La variation annuelle n'était pas importante et presqu'aucun échantillon ne respectait, pour chaque métal, le critère du MEO concernant les déblais de dragage.

Les apports totaux de métaux, calculés de la façon habituelle (multiplication de la concentration moyenne par le débit annuel moyen et la concentration moyenne annuelle des sédiments) sont donnés au tableau 8c. Le tableau 8d permet de comparer l'apport de métaux totaux par la rivière Niagara, déterminé à partir des résultats de l'analyse du tout-venant d'eau, et l'apport de métaux totaux et de métaux extractibles, déterminé à partir de la fraction constituée des sédiments en suspension. À partir de ces chiffres, on peut constater l'importance des sédiments en suspension pour la détermination des apports, notamment ceux du zinc, du fer, du plomb, du nickel, du chrome, du manganèse et du cuivre.

Organochlorés dans les sédiments en suspension

Pesticides chlorés et BPC

Le tableau 9 donne les résultats des dosages des pesticides organochlorés et des BPC dans les sédiments en suspension de la rivière Niagara. Parmi les 19 pesticides et BPC dosés, 11 ont été décelés dans plus de la moitié des échantillons. Par ordre décroissant de fréquence, ce sont les BPC totaux, l'HCB, le p,p'-DDE, le p,p'-DDT, la dieldrine, le γ-chlordane, le mirex, le α-BHC, le α-chlordane, le p,p'-TDE et le méthoxychlore.

Dérivés chlorés du benzène

Les concentrations mesurées en 1980 (tableau 10) appuient les conclusions d'Oliver et Nicol (1982) selon lesquelles le lac Ontario sert de destination finale aux chlorobenzènes rejetés dans la rivière Niagara. Chaque dérivé chloré du benzène a été décelé dans plus de 70% des échantillons prélevés. Particulièrement digne de mention est le dichloro-1,4 benzène, le chlorobenzène le plus utilisé qui est aussi le plus abondant dans ces échantillons tout comme dans les sédiments du fond du lac Ontario (Oliver et Nicol, 1982). Les autres chlorobenzènes observés à des

Tableau 9. Concentrations (ng g^{-1}) d'organochlorés dans les sédiments en suspension à Niagara-on-the-Lake, 1979-1981

Paramètre (70 échant.)	Concentrations confirmées			
	Pourcent	Mediane	C.M.	E.T.
BPC totaux	100	500	718	597
HCB	100	49	124	320
p,p'-DDE	92	18	23	23
p,p'-DDT	86	6	11	12
Mirex	76	5	12	32
α-BHC	75	4	12	23
Dieldrine	80	4	4	3
γ-Chlordane	79	2	6	9
p,p'-TDE	62	2	4	5
p,p'-Méthoxychlore	51	1	7	14
α-Chlordane	67	1	3	4
Heptachlore-époxyde	37	<1	1	2
α-Endosulfan	36	<1	4	17
γ-BHC	33	<1	2	4
o,p-DDT	30	<1	6	14
Heptachlore	8	<1	1	3
Aldrine	7	<1	2	8
β-Endosulfan	4	<1	<1	–
Endrine	1	<1	<1	–

C.M. – Concentration moyenne.
E.T. – Écart-type.
Source : Kuntz et Warry (1983).

Tableau 10. Concentrations (ng g^{-1}) de dérivés chlorés du benzène (chlorobenzènes, poids sec) dans les sédiments en suspension à Niagara-on-the-Lake, 1980

Paramètre (28 échant.)	Cas de détection (%)	C.M.	E.T.	Sédiments lac Ontario* (écart)
Di-1,2	71	148	139	4-27
Di-1,4	68	180	198	22-210
Di-1,3	71	95	116	15-250
Tri-1,3,5	93	20	13	7-250
Tri-1,2,4	100	61	42	20-220
Tri-1,2,3	86	19	18	1-16
Tétra-1,2,4,5 + 1,2,3,5	86	28	23	7-173
Tétra-1,2,3,4	96	71	52	4-86
Penta	96	58	44	3-84
Hexa	100	94	88	9-320

*D'après Oliver et Nicol (1982).
C.M. – Concentration moyenne.
E.T. – Écart-type.

concentrations élevées étaient les dichloro-1,2 et -1,3 benzène, le trichloro-1,2,4, le tétrachloro-1,2,3,4, le pentachloro- et l'hexachlorobenzène. Les données montrent que les isomères du dichlorobenzène étaient les plus concentrés dans les sédiments en suspension, mais que l'hexachlorobenzène se trouvait dans tous les échantillons.

Autres contaminants organiques : aromatiques polycycliques et phtalates

D'autres analyses de composés organiques inhabituels, y compris des phtalates et des aromatiques polycycliques, ont été réalisées sur des échantillons de sédiments en suspension prélevés à Niagara-on-the-Lake. Les résultats en sont présentés au tableau 11. Certains phtalates, notamment le phtalate bis(éthyl-2 hexyle) et le phtalate di-*n*-octyle, ont été décelés à des concentrations pouvant atteindre 107 × 10^3 ng g^{-1}. Les aromatiques polycycliques décelés à des concentrations pouvant atteindre 20 × 10^3 ng g^{-1} étaient le chrysène, le benzanthracène et le benzo(A)pyrène.

Tableau 11. Concentrations (ng g^{-1}) de phtalates et d'aromatiques polycycliques dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, à Niagara-on-the-Lake

Paramètre	Concentrations (ng g^{-1})
Phtalates de	
diméthyle	ND
diéthyle	ND
di-*n*-butyle	70-1 000
butyle et de benzyle	TR
bis-(éthyl-2 hexyle)	1700-107 000
di-*n*-octyle	100-19 650
Aromatiques polycycliques	
Naphtalène	ND-1 500
Acénaphtylène	TR-16
Acénaphtène	TR-38
Chloro-2 naphtalène	ND
Fluorène	TR-42
Anthracène et phénanthrène	TR-4 000
Fluoranthène	120-4 000
Pyrène	TR-4 000
Chrysène et benzanthracène	TR-20 000
Benzo (B) et (K) fluoranthène	190-1 008
Benzo (A) pyrène	190-20 000

ND – Non décelé.
TR – Traces.

RÉSUMÉ

Depuis 1975 à Niagara-on-the-Lake, l'échantillonnage hebdomadaire des métaux à l'état de trace dans l'eau non filtrée a permis de constater une augmentation continue des concentrations et des apports de fer et d'aluminium jusqu'en 1981, où on a observé une baisse. Il est permis de croire que ces augmentations pourraient être causées par l'érosion et la remise en suspension des sédiments sous l'action du vent, dans la cuvette orientale du lac Érié ou dans la rivière elle-même.

Les infractions les plus nombreuses aux objectifs de l'Accord de 1978 sur la qualité des eaux dans les Grands lacs (l'Accord de 1978) concernaient le fer, le cuivre et le cadmium.

Des 19 organochlorés dosés de façon répétitive dans les eaux naturelles, à Niagara-on-the-Lake, 8 ont été décelés dans plus de la moitié des échantillons et trois (BPC totaux, α- et γ-BHC) à des concentrations médianes supérieures à 1 ng L^{-1}.

Les concentrations moyennes de cadmium, de plomb, de cuivre, de zinc, de nickel et de chrome dans les sédiments en suspension prélevés à Niagara-on-the-Lake dépassaient constamment les critères du MEO concernant les déblais de dragage.

Les sédiments en suspension contribuent à environ 70 % de l'apport total de chrome et de nickel de la rivière Niagara vers le lac Ontario et à près de 100 % de l'apport total de fer, de plomb et de zinc.

Des 19 organochlorés dosés dans les sédiments en suspension prélevés à Niagara-on-the-Lake, 11 ont été décelés dans plus de la moitié des échantillons, et les BPC totaux, l'HCB et le p, p'–DDE se trouvaient à des concentrations médianes supérieures à 10 ng g^{-1}.

Des 11 dérivés chlorés du benzène présents dans les sédiments en suspension de Niagara-on-the-Lake, le plus utilisé (le dichloro-1,4 benzène) (Oliver et Nicol, 1982) était aussi le plus abondant.

Des apports de BPC vers le lac Ontario, supérieurs à ceux qui avaient été signalés, ont été calculés à partir des résultats des études à Niagara-on-the-Lake. Les apports de mirex et de DDT total restent à peu près les mêmes que ceux qui avaient été signalés par Frank et coll. (1979).

L'apport relatif d'organochlorés vers le lac Ontario, par les sédiments en suspension, est inférieur à ce qu'on croyait. Les sédiments contribuent à plus de 40 % de l'apport de DDT total (DDE surtout), de HCB, des BPC totaux et de mirex. Toutefois, pour bien estimer l'apport total, il faut analyser des échantillons d'eau, et les limites de détection doivent être très basses.

Répartition dans la rivière Niagara

EAUX NATURELLES

Métaux à l'état de trace

Au cours de quatre relevés dans le cours supérieur de la rivière, en 1975, on a dosé les métaux à l'état de trace totaux non filtrés et extractibles filtrés. En 1979, l'analyse des métaux à l'état de trace totaux non filtrés a été réalisée au cours de six relevés des eaux du cours supérieur de la rivière. L'emplacement des stations est montré à la figure 2, et les stations sont décrites au tableau 12. Les résultats sont présentés au tableau 13. Pour ce qui est des résultats inférieurs à la limite de détection, on les a posés égaux à zéro, pour les besoins du calcul.

Les résultats obtenus en 1975 et en 1979 montrent que les concentrations d'arsenic et de sélénium dans les échantillons d'eau non filtrés, que Hg, Cd, Cr, Pb, Cu, Mn, Zn et Ni extractibles ainsi que Cd, Cu, Cr, Pb, As et Ni totaux se situaient près de la limite ou à la limite de détection des méthodes d'analyse. En 1975, on n'a décelé ni chrome extractible ni mercure. Les concentrations du fer filtré extractible étaient beaucoup plus faibles que celles du fer total, ce qui montre qu'un fort pourcentage de cet élément est présent sous forme particulaire. Les résultats montrent aussi que les concentrations de fer étaient notablement plus élevées en 1979 qu'en 1975. Ils indiquent aussi que les différences transversales (figure 3) étaient significatives au seuil de confiance de 95 %

Tableau 12. Stations d'échantillonnage dans le cours supérieur de la rivière Niagara, 1975 et 1979

Intervale	Station	Distance à partir de la rive gauche si on regarde vers l'aval (m)	Repère
19.5 E	A	170	En amont du pont du nord de l'île Grand
largeur 1160 m	B	425	
	C	700	
	D	975	
23.3 E	A	180	Au large de la route de Stoney Point,
largeur 760 m	B	325	île Grand, N.Y.
	C	490	
	D	640	
20.5 W	A	150	600 m en amont de Navy Island
largeur 760 m	B	300	
	C	450	
	D	670	
31.0 E	A	150	À proximité de Blue Water Marine, île
largeur 760 m	B	300	Grand, N.Y.
	C	450	
	D	600	
26.7 W	A	135	1830 m en aval de Niagara Parks
largeur 670 m	B	270	Commission Marina
	C	400	
	D	540	
36.0	A	150	Sous le pylône en aval de Peace Bridge,
largeur 790 m	B	300	Fort Érié
	C	450	
	D	600	

Tableau 13. Concentrations (mg L^{-1}) moyennes de métaux à l'état de trace dans le cours supérieur de la rivière Niagara, 1975 et 1979

Paramètre	1975		1979	
	Nbre d'observations	Conc. moy.	Nbre d'observations	Conc. moy.
As, non filtré	81	0.000 4 (81)*	94	0.000 4 (94)
Se, non filtré	81	0.000 1 (73)	95	0.000 1 (65)
Hg, extractible	81	<0.000 05 (0)	144	0.000 01 (21)
Cd, total	81	<0.001 (2)	165	<0.001 (4)
Cr, total	81	0.001 (44)	164	0.001 (63)
Cu, total	80	0.003 (80)	142	0.003 (138)
Fe, total	81	0.216 (81)	165	0.343 (165)
Pb, total	81	0.002 (71)	168	0.001 (129)
Mn, total	81	0.010 (69)	144	0.008 (143)
Ni, total	81	0.002 (81)	167	0.003 (152)
Zn, total	81	0.004 (81)	168	0.006 (149)
Al, extractible, filtré	81	0.007 (77)		
Al, extractible, non filtré	81	0.087 (81)		
Cd, extractible filtré	81	<0.001 (3)		
Cr, extractible filtré	81	<0.001 (0)		
Cu, extractible, filtré	80	0.002 (80)		
Fe, extractible, filtré	81	0.005 (81)		
Pb, extractible, filtré	81	<0.001 (28)		
Mn, extractible filtré	81	<0.001 (14)		
Ni, extractible, filtré	81	0.001 (60)		
Zn, extractible, filtré	60	0.002 (70)		

*Nombre d'échantillons où la concentration est supérieure aux limites de détection.
Nota : Limites de détection posées égales à zéro pour le calcul de la moyenne.

pour le fer, manganèse et zinc total (Kuntz et Chan, 1982).

Le tableau 14 présente synoptiquement le pourcentage d'infractions aux objectifs de l'Accord de 1978. Il montre que les infractions sont rares sauf dans le cas du fer. Dans le cas du fer total, elles sont survenues 24 % du temps en 1979, dont la moitié lors du relevé de décembre. Les 24 échantillons prélevés au cours de ce contrôle enfreignaient l'objectif de l'Accord de 1978, qui est de 0.300 mg L^{-1}. Ces valeurs élevées ont été attribuées aux vents violents observés dans la région et au-dessus de la cuvette orientale du lac Érié, au cours des trois jours qui ont précédé le contrôle. Cette conclusion est appuyée par le fort accroissement de la turbidité, du fer total, des coliformes, du phosphore total et de plusieurs autres paramètres, depuis les relevés antérieurs. La vitesse journalière moyenne des vents pour ces trois journées antérieures et pour la période du relevé, telle que mesurée à Buffalo par la National Oceanic and Atmospheric Administration, variait entre 26.4 et 34.0 km/h. Ces vents violents ont augmenté le transport de sédiments en suspension vers la rivière, sous l'effet d'une érosion accrue des rives et de la remise en suspension des sédiments de la cuvette orientale du lac Érié. La figure 4 montre l'effet de certains de ces phénomènes à la station 20.5A, au cours de l'étude de décembre 1979 (Kuntz et Chan, 1982).

Tableau 14. Pourcentage des cas où les concentrations de métaux à l'état de trace sont supérieures à l'objectif de la CMI, en 1975 et 1979, dans le cours supérieur de la rivière Niagara

Paramètre	CMI : objectifs (mg L^{-1})	1975 (%)	1979 (%)
Cd	0.0002	2*	2*
Cu	0.005	2	7
Fe	0.300	22	24 (12)†
Pb	0.025	0	0
Zn	0.030	0	1

*La limite de détection de la méthode d'analyse est supérieure à l'objectif de la CMI.
†Les données du dernier contrôle ont été éliminées.

En mai 1981, on a contrôlé les métaux à l'état de trace dans l'eau des cours supérieur et inférieur de la rivière Niagara. L'eau non filtrée de 25 stations dont l'emplacement est montré dans la figure 5, a été échantillonnée en vue d'en analyser le fer, le cadmium, le cuivre, le plomb, le manganèse, le nickel, le zinc, le cobalt et le chrome totaux ainsi que l'aluminium extractible.

Les résultats montrent qu'en plusieurs endroits (figures 6 à 12) il y a eu infraction à l'Accord de 1978.

Tableau 15. Concentrations ($\mu g\ L^{-1}$) de contaminants organiques dans le cours supérieur de la rivière Niagara, 1979

Paramètre	Limite de détection (µg/L)	Fréquence de détection (%)	Objectif de l'accord de 1978 (µg/L)	Infractions à l'objectif de l'accord (%)	Moyenne ($\mu g\ L^{-1}$)
α-BHC	0.001	100	–	–	0.007
Cyanures	1.0	90	–	–	0.002
γ-BHC (lindane)	0.001	84	0.010	0	0.001
Dieldrine	0.001	32	0.001	0	<0.001
BPC	0.020	19	–	–	0.005
Phénols	1.0	9	1.0	4	<0.001
p,p'-DDE	0.001	6	–	–	<0.001
Hexachlorobenzène	0.001	3	–	–	<0.001
β-Endosulfan	0.01	3	–	–	<0.001
p,p'-DDT	0.001	1	0.003	0	<0.001

Nota : Les limites de détection posées sont égales à zéro pour le calcul de la moyenne.

Les concentrations sont généralement plus élevées dans les eaux de surface du chenal Tonawanda que dans celles du chenal Chippawa, notamment pour ce qui est du fer, du zinc, du cuivre et de l'aluminium. Les infractions à l'Accord de 1978 touchaient le fer (8), le zinc (1), le cuivre (14), l'aluminium (1)' et le cadmium (1). Un échantillon prélevé à la station 38.5, dans la rivière Buffalo, contenait beaucoup de fer, de plomb et de manganèse. La station 34.6B est située immédiatement en aval de deux effluents de la Buffalo Sewer Authority. Ceci peut expliquer les concentrations élevées de zinc, de cuivre, de nickel, de cadmium et de manganèse qu'on y a observées. La station 34.6C est située dans le Black Rock Canal, à proximité immédiate du ruisseau Scajaquada. On y a observé des concentrations élevées de chrome, de plomb et de nickel. On a aussi observé une concentration élevée de nickel à la station 19.4, au large de l'extrémité nord de l'île Grand (16 μg^{-1}). Cette anomalie est restée inexpliquée.

Contaminants organiques dans les eaux naturelles (tout-venant)

En 1975, on a analysé un grand nombre de contaminants organiques dans des échantillons prélevés dans certaines stations de la rivière Niagara (figure 2). Cependant, dans beaucoup de cas, les limites de détection n'étaient pas suffisamment basses. Seuls les phénols (9 % des cas) et les cyanures (totalité des cas) ont été décelés dans le cours supérieur de la rivière. Toutefois, les limites de détection ont été depuis abaissées de façon significative et par conséquent, considérablement plus de composés ont été décelés en 1979 (tableau 15). Comme en 1975, les phénols étaient décelés à l'occasion, alors que les cyanures l'étaient presque toujours. De plus, le γ-BHC a toujours été décelé dans la gamme de 0.005 à 0.007 mg L^{-1}. Les autres contaminants décelés, dans l'ordre décroissant de fréquence, étaient le γ-BHC (lindane), la dieldrine, les BPC, le p,p'-DDE, le HCB, le β-endosulfan et le p,p'-DDT. Les autres composés recherchés, mais jamais décelés étaient: le heptachlore, l'aldrine, le heptachlore-époxyde, le α- et le γ-chlordane, le α-endosulfan, l'endrine, l'o,p-DDT, le p,p'-TDE, le mirex et le p,p'-méthoxychlore. En 1979, on a prélevé un total de 72 échantillons, soit 12 par station. Le tableau 15 donne les limites de détection, la fréquence de détection, l'objectif précis exprimé dans l'Accord de 1978, le pourcentage du temps où il y a eu infraction aux objectifs et la valeur moyenne des paramètres décelés en 1979. Seuls les phénols enfreignaient l'objectif de l'Accord de 1978 (4 % du temps). À remarquer toutefois que beaucoup de ces contaminants ne sont visés par aucun objectif précis de l'Accord.

En 1981, deux contrôles des contaminants toxiques ont été réalisés à cinq stations des sections supérieures et inférieures de la rivière Niagara (figure 13). En juillet, on a prélevé 15 échantillons de 4 L du tout-venant d'eau y compris les sédiments en suspension en vue de l'analyse des contaminants organiques; on a en octobre–novembre prélevé 9 échantillons. Au total, 19 pesticides organochlorés et BPC et 11 dérivés chlorés du benzène ont été étudiés.

Plusieurs contaminants, y compris l'heptachlore, l'heptachlore-époxyde, l'aldrine, le γ-chlordane, α-endosulfan et le o,p-DDT n'ont jamais été décelés. De plus, le p,p'-DDE n'a pas été décelé en juillet tandis que le γ-BHC, le α-chlordane, l'endrine et le p,p'-TDE

[1] Objectif du MEO de 100 μg^{-1}, pour la protection des formes de vie aquatiques.

ne l'étaient pas en octobre-novembre. De plus, l'HCB, l'endrine, le p,p'-TDE, le p,p'-DDT et le α-chlordane n'ont été décelés qu'une fois ou deux en juillet. Pour ce qui est des autres composés, seuls le α-BHC et les BPC totaux ont été décelés à des concentrations moyennes supérieures à 1 ng L^{-1} dans plus de la moitié des échantillons (tableau 16). Les dérivés di-, tri-, et tétrachlorés du benzène ont été décelés à des moyennes supérieures à 1 ng L^{-1} dans plus de la moitié des échantillons d'eau (tout-venant).

Tableau 16. Concentrations (ng L^{-1}) des contaminants organiques dans les échantillons d'eau (tout-venant) de la rivière Niagara, 1981

Paramètre (15 échant.)	Fréquence de détection (%)	Distribution des valeurs	Conc. moy.
α-BHC	93	DL-8.2	5.0
Dieldrine	93	DL-4.6	0.6
BPC totaux	73	DL-52.0	13.5
p,p'-DDE	60	DL-0.5	0.2
p,p'-DDT	60	DL-0.6	0.2
γ-BHC	33	DL-8.2	0.2
α-Chlordane	13	DL-0.3	<0.1
Mirex	13	DL-0.1	<0.1
Endrine	7	DL-0.2	<0.1
p,p'-TDE	7	DL-0.1	<0.1
Méthoxychlore	7	DL-1.0	<0.1
Chlorobenzènes			
Di	80	DL-40.0	16.7
Tétra	67	DL-4.0	1.4
Tri	60	DL-4.0	1.9
Penta	13	DL-1.0	<0.1

DL – Limite de détection.

Contaminants organiques dans les eaux naturelles (fraction aqueuse — échantillons APLE)

Au cours de la campagne de contrôle des contaminants toxiques de 1981, dans le cours supérieur et inférieur de la rivière Niagara, on a prélevé de gros échantillons d'eau (200 L) après élimination des sédiments en suspension à l'aide d'une centrifugeuse Westfalia. La fraction aqueuse subsistante a été soumise à une extraction de 2 h au dichlorométhane, on a ensuite laissé se déposer ce dernier pendant 2 h avant de le recueillir à l'aide d'un drain situé au fond de l'échantillonneur. Cette méthode d'extraction des matières organiques présentes dans l'eau est décrite par McCrea (1982). Tous les matériaux de l'échantillonneur qui viennent en contact avec l'eau sont soit de téflon soit d'acier inoxydable.

Cette technique d'analyse de gros volumes est encore en grande partie un outil de recherche. Elle a été mise au point à grand renfort de contrôles de la qualité. Par la méthode des ajouts dosés, on retrouve de 80 % à 90 % des pesticides et des BPC. Néanmoins, les résultats doivent être considérés comme ceux d'une technique nouvelle, d'une exactitude non encore éprouvée, surtout en ce qui concerne les dérivés chlorés du benzène.

On pensait que des variations importantes, saisonnières et spatiales, pourraient être observées dans la rivière Niagara, ce qui a fait que trois relevés ont été entrepris en mai, en juillet et en octobre–novembre, à cinq stations du cours supérieur et inférieur de la rivière Niagara. À ces stations, les prélèvements ont été réalisés au milieu du cours d'eau, comme le montre la figure 13.

Discussion des paramètres mesurés

Les isomères BHC (α et γ)

Les concentrations du produit de dégradation qu'est le α-BHC étaient généralement de trois à quatre fois supérieures à celles du γ-BHC, dans la fraction aqueuse prélevée (figures 14 et 15). Aucune répartition saisonnière remarquable n'a été observée, mais les variations spatiales étaient considérables. Dans l'eau du cours inférieur, notamment à la station 1.5, à Niagara-on-the-Lake, les concentrations pour le γ et le α-BHC étaient respectivement 2.9 et 1.9 fois plus élevées que celles qui avaient été observées à Fort Érié, ce qui démontre que des quantités considérables de ces contaminants sont rejetées dans la rivière.

Heptachlore et heptachlore-époxyde

L'heptachlore n'a été décelé dans aucun des 22 échantillons analysés. Comme ce composé s'hydrolyse rapidement dans l'eau (période de un à trois jours) et qu'il est aussi transformé biologiquement en heptachlore-époxyde (EPA, 1979), sa présence dans la fraction aqueuse n'est pas probable.

De son côté, l'heptachlore-époxyde, dont la demi-vie est de plusieurs années (EPA, 1979), résiste considérablement plus aux transformations chimiques et biologiques que l'heptachlore dans le milieu aquatique, ce qui fait qu'il se présente en concentrations plus fortes dans la fraction aqueuse de la rivière. D'après les répartitions spatio-temporelles montrées dans la

figure 16, les concentrations étaient très faibles à toutes les stations en octobre–novembre, tandis qu'elles étaient plus élevées au cours des autres périodes. Les chiffres montrent aussi que des quantités considérables d'heptachlore-époxyde pénètrent dans la rivière entre Fort Érié et Niagara-on-the-Lake. Les concentrations moyennes à Niagara-on-the-Lake étaient 24 fois plus élevées qu'à Fort Érié.

Les isomères du chlordane (α et γ)

Dans la moitié des échantillons du mois de mai 1981, ainsi que dans tous ceux sauf un du mois de juillet de la même année, l'α-chlordane a été décelé à des concentrations pouvant atteindre 10 ng 200 L^{-1} dans la fraction aqueuse de la rivière Niagara. Il pourrait y avoir une variation saisonnière de la concentration de ce composé, car ce dernier n'a pas été décelé en octobre–novembre.

Le γ-chlordane n'a pas été décelé, ni en mai ni en octobre–novembre. Des concentrations pouvant atteindre 3 ng 200 L^{-1} ont été décelées dans 7 des 8 échantillons de juillet.

Les isomères endosulfan (α et β)

Les concentrations d'α-endosulfan atteignaient 19 ng 200 L^{-1} dans la fraction aqueuse. Ce composé a été décelé dans 10 des 22 échantillons analysés. Sa concentration était 10 fois plus grande à Niagara-on-the-Lake qu'à Fort Érié (tableau 17), ce qui montre que la rivière en reçoit des apports. Le β-endosulfan n'a pas été décelé.

Tableau 17. Répartition des organochlorés (ng 200 L^{-1}) dans la fraction aqueuse* des prélèvements dans la rivière Niagara, 1981 (moyennes observées aux stations)

Paramètre	Numéro de la station					Rapport§
	1.5†	6.8	20.5	19.3	37.7‡	
Heptachlore-époxyde	24	ND	16	14	1	24.0
α-Endosulfan	10	ND	1	4	1	10.0
BPC totaux	161	136	37	54	52	3.1
p,p'-DDE	3	4	1	2	ND	3.0
γ-BHC	299	146	135	117	118	2.5
Endrine	4	4	4	1	2	2.0
α-BHC	1107	555	636	878	578	1.9
p,p'-DDT	4	4	8	3	3	1.3
DDT total	29	16	23	12	22	1.3
p,p'-TDE	22	8	14	7	18	1.2
Dieldrine	53	38	46	36	51	1.0
α-Chlordane	4	ND	2	1	4	1.0

* Échantillon issu de la centrifugeuse Westfalia puis soumis à une extraction au dichlorométhane dans l'échantillonneur APLE.
† Niagara-on-the-Lake.
‡ Fort Erié.
§ Rapport entre Niagara-on-the-Lake et Fort Érié.
ND – Non décelé.

Aldrine, dieldrine et endrine.

L'aldrine n'a pas été décelée dans les fractions aqueuses prélevées en 1981. Il n'y a là rien de surprenant, car l'aldrine se volatilise en quelques jours et se transforme aussi biologiquement en dieldrine en environ 24 h (EPA, 1979).

L'endrine a été observée à des concentrations de 1 à 10 ng 200 L^{-1} dans 16 des 22 échantillons, et les concentrations à Niagara-on-the-Lake étaient environ le double de celles de Fort Érié. Les répartitions saisonnières, données dans la figure 17, montrent des concentrations printanières faibles et des concentrations estivales beaucoup plus élevées.

La dieldrine, composé le plus fréquent du trio, a été décelée dans les 22 échantillons prélevés. Il s'agit d'un composé non biodégradable, qui serait plus rémanent que le DDT, l'endrine ou l'aldrine (EPA, 1979). Il n'y a donc rien de surprenant qu'on l'observe plus souvent et à des concentrations plus élevées (3 à 81 ng 200 L^{-1}) dans la fraction aqueuse de l'eau de la rivière Niagara. Ce composé semble aussi avoir une répartition relativement égale dans l'ensemble de la rivière (figure 18), ce qui montre que, dans sa plus grande partie, il provient du lac Érié.

Le DDT et ses métabolites.

Le DDT de qualité technique consiste en 70 % à 73 % de p,p'-DDT et de 12 % à 21 % d'o,p-DDT (EPA, 1979). Les concentrations inférieures du dernier peuvent expliquer sa disparition de la phase aqueuse de la rivière Niagara. On ne l'a observé dans aucun des 22 échantillons prélevés en 1981.

Quant au p,p'-DDT, il a été décelé dans 12 des 22 échantillons analysés. Les répartitions saisonnières données dans la figure 19 montrent que les concentrations sont plus élevées en mai et notamment, en juillet, tandis qu'elles sont indécelables en octobre–novembre. Warry et Chan (1981) ont observé un comportement printanier similaire dans les sédiments en suspension prélevées à Niagara-on-the-Lake. La rémanence du composé (période de 4 à 150 années) (EPA, 1979) peut expliquer qu'il soit répandu à des concentrations de 2 à 24 ng 200 L^{-1} de la fraction aqueuse. On a aussi

observé que ses concentrations à Niagara-on-the-Lake étaient environ 1.3 fois supérieures à celles de Fort Érié (tableau 17).

Le p,p'-DDE a été décelé à des concentrations situées entre 0.5 et 7.2 ng 200 L^{-1}, dans 16 des 22 échantillons. Comme il s'agit d'un produit de dégradation du DDT et qu'il est plus stable que ce dernier ou le TDE (DDD) (EPA, 1979), on le trouve souvent dans l'eau de la rivière Niagara. Les variations spatio-temporelles données dans la figure 20 montrent que les concentrations à Niagara-on-the-Lake étaient 3 fois supérieures à celles de Fort Érié, en mai (tableau 17).

Le p,p'-TDE (DDD) a été décelé dans 12 des 22 échantillons, à des concentrations de 5 à 62 ng 200 L^{-1}. On n'en a pas décelé en mai, mais on en a décelé de fortes concentrations en juillet puis des concentrations plus faibles en octobre–novembre, à toutes les stations, sauf la station 1.5 à Niagara-on-the-Lake (figure 21). Les concentrations de p,p'-TDE à Niagara-on-the-Lake étaient d'environ 1.2 fois supérieures à celles de Fort Érié (tableau 17).

Les variations spatio-temporelles du DDT total (figure 22) montrent que les concentrations étaient élevées dans toute la rivière Niagara en juillet. Les concentrations observées en octobre–novembre étaient moindres à toutes les stations, sauf la station 1.5 à Niagara-on-the-Lake. Encore une fois, ces concentrations y sont environ 1.2 fois supérieures à celles de Fort Érié.

Mirex

Le mirex a été décelé dans la fraction aqueuse de seulement 6 échantillons sur 22, à la concentration de 0.1 à 1.5 ng 200 L^{-1}, lors des relevés en juillet et en octobre–novembre. En mai, on n'en a décelé à aucune des cinq stations d'échantillonnage.

Méthoxychlore

Ce composé a été décelé dans un seul des 22 échantillons prélevés.

BPC totaux

Les BPC totaux ont été décelés dans 20 des 22 échantillons, à la concentration de 19 à 274 ng 200 L^{-1}. Même s'il n'existe aucune variation temporelle, les concentrations dans le cours inférieur de la Niagara étaient 3.1 fois plus élevées à Niagara-on-the-Lake qu'à Fort Érié (tableau 17 et figure 23).

SÉDIMENTS DU LIT

Métaux à l'état de trace

En mai 1981, on a prélevé les sédiments du lit à 16 stations du cours supérieur et inférieur de la rivière Niagara. On a tenté d'en faire autant à 17 autres stations, mais on n'y est pas parvenu à cause de la nature glacio-lacustre graveleuse ou compacte du fond à ces stations (figure 30).

Méthodes de prélèvement

Les sédiments ont été prélevés aux stations (figure 24) au moyen d'un échantillonneur BM-54 américain (figure 25). Ce dispositif est doté d'ailettes postérieures qui permettent de le positionner dans le courant. Lorsque supporté par un cable, l'échantillon est ouvert en vue du prélèvement. Lorsque la tension du cable de remorque est relâchée au moment où le dispositif repose sur le fond, on prélève une lame d'un pouce (2.54 cm) d'épaisseur. Le baquet saisit et enferme l'échantillon de sorte qu'il n'est pas délavé par l'eau à la remontée.

Les sédiments prélevés sont décrits aux tableaux 18 et 19. Les métaux qu'ils renferment ont été dosés conformément aux méthodes du *Manuel des méthodes analytiques* (Environnement Canada, 1979) et on donne la variation des concentrations pour chacun des éléments suivants :

(1) arsenic, sélénium et mercure totaux;
(2) cadmium, plomb, cobalt, cuivre, zinc, nickel, chrome extractibles au HCl 0.5 *N*; et
(3) carbone organique et azote particulaires.

Tableau 18. Description des sédiments du lit de la rivière Niagara, en son cours inférieur

Station	Date	Distance de la rive (m)	Description des sédiments
6.8A	6 mai	Milieu du chenal	Aucun sédiment (gravier)
6.8B	6 mai	30	Sable et gravier
6.3	6 mai	15	Sable et gravier
5.6	7 mai	15	Aucun sédiment (roches)
4.8	6 mai	30	Sable
3.7	6 mai	15	Aucun sédiment
2.8	7 mai	30	Sable et gravier
1.5	8 mai	Milieu du chenal	Aucun sédiment

Tableau 19. Description des sédiments du lit de la rivière Niagara, en son cours supérieur

Station	Date	Distance de la rive (m)	Description des sédiments
38.5 riv. Buffalo	6 mai	Milieu du chenal	Argile limoneuse noire
37.7	9 mai	Milieu du chenal	Aucun sédiment (roches)
36.2A	9 mai	30	Aucun sédiment
36.2B	9 mai	15	Aucun sédiment
34.6A	9 mai	7	Aucun sédiment
34.6B	9 mai	7	Aucun sédiment
34.6C	9 mai	7	Argile limoneuse noire, huileuse
32.9C	8 mai	15	Sable et argile limoneuse
32.9B	8 mai	15	Sable et argile limoneuse
31.3	8 mai	Milieu du chenal	Aucun sédiment
27.2	8 mai	15	Argile, limon et sable
24.5	8 mai	15	Argile
20.5	8 mai	Milieu du chenal	Aucun sédiment (roches)
19.4	8 mai	30	Aucun sédiment (roches)
18.0	8 mai	15	Aucun sédiment (roches)
31.4	8 mai	Milieu du chenal	Aucun sédiment
29.8	8 mai	15	Sable et argile limoneuse
27.3	8 mai	15	Sable et argile limoneuse
25.4	8 mai	Milieu du chenal	Sable et argile limoneuse
23.3	8 mai	15	Sable et cailloux
21.4	8 mai	Milieu du chenal	Sable et argile limoneuse
20.1	8 mai	Milieu du chenal	Argile limoneuse noire
19.3	8 mai	Milieu du chenal	Aucun sédiment (gravier)
18.9	8 mai	15	Aucun sédiment (roches)
17.6	8 mai	15	Aucun sédiment (roches)

De plus, l'analyse granulométrique, c'est-à-dire le pourcentage de gravier (>8000 μm), de sable (de 63–8000 μm), de limon et d'argile (<63 μm) a été effectuée; la teneur en matières volatiles de chacun de ces échantillons a aussi été déterminée. Les résultats sont résumés au tableau 20 et les répartitions montrées aux figures 26, 27 et 28.

Cadmium

En général, on a observé des concentrations supérieures de cet élément le long de la partie américaine de la rivière, entre la rivière Buffalo et la région du Love Canal. Exceptionnellement, des concentrations élevées ont été décelées dans le Black Rock Canal, à une certaine distance du ruisseau Scajaquada, dans la rivière Buffalo, à proximité du ruisseau Two Mile, près du Love Canal et à une station du cours inférieur (figure 29). Toutes ces stations, sauf la dernière, indiqueraient la présence de sources possibles de cadmium dans les environs. Beaucoup de ces concentrations élevées enfreignaient l'objectif de 1000 μg kg^{-1} du ministère de l'Environnement de l'Ontario (MEO).

Chrome

Les concentrations de chrome dans les sédiments de la rivière étaient généralement inférieures à l'objectif de 25 mg kg^{-1} du MEO, sauf dans le Black Rock Canal et en aval, près du Love Canal et à proximité du ruisseau Two Mile (figure 30).

Tableau 20. Caractéristiques des sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981

Station	Pourcentage de gravier (>8000 μm)	Pourcentage de sable (63–8000 μm)	Pourcentage d'argile et de limon (<63 μm)	Pourcentage de matières volatiles
2.8	2.3	84.3	13.4	1.23
4.8	0.0	97.1	2.8	0.58
6.3	0.0	67.6	32.4	1.99
6.8B	0.0	96.4	3.6	1.03
20.1	0.0	52.3	47.7	6.37
21.4	9.8	88.3	1.9	1.11
23.3	7.8	46.8	45.3	2.47
24.5	0.0	11.7	88.3	3.83
25.4	0.0	95.2	4.8	1.86
27.2	0.0	76.5	23.5	2.76
27.3	2.4	95.9	1.7	2.49
29.8	6.4	87.2	6.3	4.57
32.9A	0.0	85.3	14.7	1.94
32.9B	0.0	53.4	46.6	5.43
34.6C	0.0	38.6	61.4	12.40
38.5 rivière Buffalo	7.3	24.7	68.0	5.60

Cobalt

Toutes les concentrations observées se situaient entre 1 et 5 mg kg^{-1} et n'ont jamais dépassé l'objectif de 50 mg kg^{-1} du MEO (figure 31).

Cuivre

L'objectif du MEO est de 25 mg kg^{-1}. Il a été enfreint en plusieurs stations, presque toutes du côté américain. La plupart des concentrations élevées ont été observées dans le Black Rock Canal et en aval, dans la rivière Buffalo, à proximité du ruisseau Two Mile, près du Love Canal et dans le cours inférieur de la rivière (figure 32).

Plomb

L'objectif du MEO est de 50 mg kg^{-1}. Il a été enfreint dans la plupart des stations américaines, entre la rivière Buffalo et les parages du Love Canal. Les maximums ont été observés dans le Black Rock Canal, à proximité du ruisseau Scajaquada, et en aval du canal (figure 33).

Nickel

L'objectif du MEO est de 25 mg kg^{-1}. Il n'a été enfreint qu'à une station, dans le Black Rock Canal, à proximité du ruisseau Scajaquada (figure 34).

Zinc

L'objectif du MEO est de 100 mg kg^{-1}. Il a été enfreint à plusieurs stations du côté américain, entre la rivière Buffalo et le Love Canal. Les maximums ont été observés dans le Black Rock Canal, dans les parages du Love Canal et à une station du cours inférieur de la rivière (figure 35).

Mercure total

Des concentrations très élevées de mercure (plus de 10 fois supérieures à celles qui ont été observées du côté canadien) ont été observées à presque toutes les stations de la rive américaine, entre la rivière Buffalo et les parages du Love Canal (figure 36). Des concentrations supérieures à 1 000 $\mu g\ kg^{-1}$ ont été observées dans le Black Rock Canal, à proximité du ruisseau Scajaquada, en aval et dans les parages du Love Canal. Des concentrations élevées ont aussi été observées dans le cours inférieur de la rivière, par rapport à celles qui ont été observées dans le chenal Chippawa du cours supérieur. L'objectif du MEO est de 300 $\mu g\ kg^{-1}$. Il a été enfreint en plusieurs stations, y compris celles de la rivière Buffalo, du Black Rock Canal ainsi qu'en aval et dans les parages du Love Canal.

Arsenic total

L'objectif du MEO est de 8 mg kg^{-1}. Les concentrations observées d'arsenic total étaient généralement inférieures, sauf dans la rivière Buffalo, dans le Black Rock Canal et en aval de ce dernier (figure 37).

Sélénium total

Les concentrations de sélénium total étaient également réparties sous 500 $\mu g\ kg^{-1}$ dans l'ensemble de la rivière. Toutefois, on a décelé des concentrations élevées près du Love Canal et à une station du cours inférieur de la rivière (figure 38).

Carbone organique

Le taux de carbone organique variait de 1 % à 4 % dans les sédiments, un maximum de 6 % ayant été observé dans le Black Rock Canal, à proximité du ruisseau Scajaquada. Ceci correspond à une perte au feu de 10 %. Cette valeur dépasse la limite de 6 % pour le pourcentage de perte au feu, instituée par le MEO (figure 39).

Azote organique

Les concentrations d'azote organique étaient habituellement inférieures à 100 mg kg^{-1} sauf dans les stations de la rivière Buffalo, du Black Rock Canal, des parages du ruisseau Frenchman et des parages du Love Canal (figure 40).

Corrélations entre les métaux et les caractéristiques des sédiments du lit de la rivière Niagara

Les sédiments n'ont pas été seulement soumis au dosage des métaux, mais aussi à l'analyse granulométrique et à la détermination des matières volatiles. En employant la méthode du calcul de la corrélation de Pearson, les données du tableau 21a montrent que le pourcentage d'argile et de limon est corrélé de façon

significative au pourcentage de matières volatiles à un seuil de confiance de 90 %. Les concentrations de cuivre et de nickel étaient aussi corrélées au pourcentage de matières volatiles à un seuil de confiance de 90 %. Le cuivre était aussi corrélé au chrome, au plomb, au nickel et au zinc au même seuil de confiance. Toutefois, la corrélation entre le cuivre et le nickel s'est révélée fausse après calcul des corrélations partielles. Les matières volatiles expliquent donc cette corrélation, le cuivre et le nickel n'étant pas par eux-mêmes corrélés de façon significative. De plus, le plomb et le zinc étaient aussi corrélés au seuil de confiance de 90 %. Ces chiffres signifient que plusieurs des métaux proviennent de sources semblables. Le fait que le pourcentage d'argile et de limon ne se corrèle bien avec aucun des métaux signifie que les concentrations de métaux ne dépendent pas du pouvoir d'adsorption des sédiments ni de leur granulométrie mais qu'elles dépendent probablement davantage de l'emplacement des sources et aussi de la vitesse du courant dans la région où les métaux se déposent. Si le courant est plus rapide, les particules fines seront entraînées et les métaux seront aussi charriés de cette façon. La corrélation entre le pourcentage de matières volatiles et certains métaux, soit le cuivre et le nickel, est meilleure et indique probablement que les matières volatiles sont associées avec d'autres sources de contaminants en plus des métaux.

Contaminants organiques dans les sédiments du lit

Les isomères BHC (α et γ)

Les concentrations de α-BHC (produit de dégradation du lindane) étaient généralement égales à la limite de détection ou près de cette dernière, sauf aux stations du Black Rock Canal (32 $\mu g\ kg^{-1}$, près du Love Canal (2260 $\mu g\ kg^{-1}$) et dans le cours inférieur de la rivière Niagara (151 $\mu g\ kg^{-1}$). Le γ-BHC a été décelé dans ses concentrations les plus fortes près du Love Canal (21 $\mu g\ kg^{-1}$) et dans le cours inférieur de la rivière Niagara (87 $\mu g\ kg^{-1}$) (figures 41 et 42).

Tableau 21a. Matrice de corrélation entre les variables incluant les métaux à l'état de trace des sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981

Paramètre	Pourcentage de sable	Argile et limon (%)	Matières volatiles (%)	Cadmium	Chrome	Cuivre	Plomb	Nickel	Zinc	Mercure	Sélénium
Sable (%)	1.000										
Argile et de limon (%)	-0.679*	1.000									
Matières volatiles (%)	-0.343	0.646	1.000								
Cadmium	0.610	-0.511	-0.487	1.000							
Chrome	0.198	0.024	0.404	-0.456	1.000						
Cuivre	0.051	0.161	0.626	-0.522	0.658	1.000					
Plomb	0.227	-0.010	0.400	-0.206	0.408	0.622	1.000				
Nickel	-0.009	0.342	0.886	-0.419	0.541	0.755†	0.607	1.000			
Zinc	0.327	-0.081	0.211	0.019	0.341	0.651	0.706	0.386	1.000		
Mercure	0.443	-0.142	0.156	0.045	0.601	0.271	0.409	0.242	0.257	1.000	
Sélénium	0.065	0.237	0.371	-0.212	0.187	0.324	0.121	0.490	0.044	0.194	1.000

*Les valeurs soulignées sont significatives au seuil de confiance de 90 %.
†Fausse corrélation, révélée par le calcul des corrélations partielles.

Tableau 21b. Matrice de corrélation entre les variables incluant les contaminants organiques des sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981

Paramètre	Pourcentage de sable	Argile et limon (%)	Matières volatiles (%)	α-BHC	p,p'-DDE	p,p'-TDE	Méthoxychlore	BPC totaux	Dichlorobenzènes
Sable (%)	1.000								
Argile et de limon (%)	-0.679*	1.000							
Matières volatiles (%)	-0.343	0.646	1.000						
α-BHC	-0.088	0.187	0.266	1.000					
p,p'-DDE	0.178	-0.081	0.170	-0.083	1.000				
p,p'-TDE	0.274	-0.205	0.046	-0.110	0.054	1.000			
Méthoxychlore	0.024	0.112	0.134	-0.123	0.035	-0.001	1.000		
BPC totaux	-0.019	0.194	-0.031	0.070	-0.340	0.021	-0.005	1.000	
Dichlorobenzènes	0.097	0.215	0.167	-0.090	-0.051	0.115	-0.168	0.307	1.000

*Les valeurs soulignées sont significatives au seuil de confiance de 90 %.

Heptachlore et heptachlore-époxyde

L'heptachlore-époxyde n'a été identifié que dans 4 des 16 échantillons prélevés. Les concentrations maximales ont été observées dans les échantillons de la rivière Buffalo (8 $\mu g\ kg^{-1}$), des parages du Love Canal (10 $\mu g\ kg^{-1}$) et de la proximité du ruisseau Two Mile (19 $\mu g\ kg^{-1}$). L'heptachlore n'a été décelé à aucune des 16 stations (figure 43).

Les isomères Alpha et Gamma-chlordane

Le α-chlordane n'a été décelé qu'à 4 des 16 stations. Dans tous les cas, sauf la station 34.6C du Black Rock Canal, où 49 $\mu g\ kg^{-1}$ ont été décelés, les concentrations étaient inférieures à 7 $\mu g\ kg^{-1}$ (figure 44).

Le γ-chlordane n'a été décelé qu'à deux stations. Encore une fois, la station du Black Rock Canal (34.6C) se distinguait avec 94 $\mu g\ kg^{-1}$. L'autre station (25.4), située entre l'île Tonawanda et la rive américaine, affichait une valeur de 20 $\mu g\ kg^{-1}$, ce qui indiquait la présence d'une source dans le ruisseau Ellicot ou dans le canal Érié (figure 45).

Les isomères Alpha et Bêta-endosulfan

Les concentrations d'α-endosulfan étaient généralement faibles, sauf dans la rivière Buffalo, le Black Rock Canal et en aval de ce dernier (figure 46).

Les concentrations de β-endosulfan étaient faibles dans toute la rivière, sauf dans les parages du Love Canal ou on a observé 28 $\mu g\ kg^{-1}$ (figure 47).

DDT et ses métabolites

Sous sa forme d'origine, ou p,p'-DDT, le DDT a été décelé dans 5 des 16 stations (figure 48). Comme ce composé est interdit au Canada depuis 1972, il est difficile d'expliquer sa persistance dans les sédiments au large des ruisseaux Frenchman et Miller, du côté canadien. Ce composé est soit encore utilisé illégalement ou il subsiste non dégradé dans les sédiments, près de neuf ans après son utilisation. Des concentrations de p,p'-DDT ont été observées du côté américain, en aval du Black Rock Canal, et on en a observé dans la rivière Buffalo.

De faibles concentrations de p,p'-DDE ont été observées à plusieurs stations de la rivière Niagara (figure 49). Des concentrations élevées ont été observées dans le Black Rock Canal et en aval ainsi qu'entre l'île Tonawanda et la rive américaine, ce qui indiquerait la présence d'une source dans le ruisseau Ellicot ou le canal Érié.

En général, les concentrations de p,p'-TDE étaient faibles dans l'ensemble de la rivière (figure 50). Toutefois, on en a observé certaines, quelque peu élevées, le long de la rive américaine et dans le chenal Tonawanda, notamment au large du ruisseau Two Mile.

L'o,p-DDT n'a été décelé dans aucune des 16 stations.

Aldrine, dieldrine et endrine

L'aldrine n'a été décelée dans aucune des 16 stations.

La dieldrine n'a été décelée que dans deux des échantillons prélevés près du Love Canal et entre l'île Tonawanda et la rive américaine (figure 51).

L'endrine a été décelée à cinq stations, toutes du côté américain, entre la rivière Buffalo et l'île Tonawanda (figure 52). Les maximums ont été observés dans le Black Rock Canal (181 $\mu g\ kg^{-1}$) et au large du ruisseau Two Mile (50 $\mu g\ kg^{-1}$). Il s'y trouverait probablement des sources de ce composé.

Mirex

Dans l'ensemble de la rivière, les concentrations de mirex étaient très faibles, sauf à une station près du Love Canal (figure 53) où la concentration était très forte (890 $\mu g\ kg^{-1}$). Ce maximum a été confirmé par la chromatographie en phase gazeuse accouplée à la spectrométrie de masse. Il n'y a là rien de surprenant car la Hooker Chemical était le seul producteur de ce composé, et on sait que de fortes quantités de ce dernier ont été éliminées dans la décharge voisine du Love Canal.

Méthoxychlore

Les concentrations élevées de ce composé ont été observées en aval du Black Rock Canal, au large des ruisseaux Two Mile et Miller et à une station du cours inférieur de la rivière Niagara (figure 54).

BPC totaux

Des concentrations élevées de BPC totaux ont été observées à toutes les stations du côté américain et aussi dans le cours inférieur de la rivière Niagara, ce qui indique la présence de sources de rejet (figure 55). Les concentrations observées le long du chenal Chippawa étaient toutefois relativement faibles. Des concentrations très élevées ont été observées dans le Black Rock Canal (10 200 $\mu g\ kg^{-1}$) et en aval (2 820 $\mu g\ kg^{-1}$) et entre l'île Tonawanda et la rive américaine (17 900 $\mu g\ kg^{-1}$), ce qui trahit l'existence d'une source importante, probablement le ruisseau Ellicot ou le canal Érié. Des concentrations moindres ont aussi été observées à proximité du Love Canal (630 $\mu g\ kg^{-1}$) et dans la rivière Buffalo (480 $\mu g\ kg^{-1}$). Dans le cours inférieur de la rivière, les concentrations variaient entre 100 et 300 $\mu g\ kg^{-1}$, ce qui traduit un accroissement de la concentration observée dans le chenal Chippawa.

Dérivés chlorés du benzène

Parmi les trois dichlorobenzènes, le plus utilisé (le dichloro-1,4 benzène) (Oliver et Nicol, 1982) est aussi celui dont on observe les plus fortes concentrations et la plus grande répartition dans les sédiments du lit de la rivière Niagara (figures 56 à 60). Tous les dérivés contrôlés, c'est-à-dire les di-, tri-, tétra-, penta- et hexachlorobenzènes ont été décelés à des concentrations élevées à une station près du Love Canal, ce qui indique la présence possible d'une source de ces composés dans les parages. Des di- et les trichlorobenzènes ont aussi été décelés à des concentrations élevées à une station du Black Rock Canal, à proximité du ruisseau Scajaquada. Des trichloro- et le pentachlorobenzène ont aussi été trouvés en concentrations élevées dans les sédiments de la rivière Buffalo. Les sédiments d'une station du cours inférieur de la Niagara contenaient des concentrations élevées d'hexachloro- et de dichlorobenzène. Des concentrations élevées d'hexachlorobenzène ont aussi été observées à une station entre l'île Tonawanda et la rive américaine.

Corrélations entre les matières organiques et les caractéristiques des sédiments du lit de la rivière Niagara

Les données du tableau 21b montrent que le pourcentage de limon et d'argile est corrélé au pourcentage de matières volatiles, mais qu'aucun des contaminants organiques n'est corrélé de façon significative aux caractéristiques des sédiments, au seuil de confiance de 90 %. Ceci signifie que les variations des concentrations des contaminants ne sont pas reliées à différents types de sédiments, mais le sont plus probablement aux sources dans les secteurs échantillonnés.

SÉDIMENTS EN SUSPENSION

Pendant le contrôle des sources de matières toxiques réalisé en 1981 dans le cours supérieur et inférieur de la rivière Niagara, on a prélevé les sédiments en suspension durant des périodes approximatives de 20 h, au moyen de trois centrifugeuses Westfalia. L'échantillonnage a été réalisé au cours de journées consécutives, à cinq stations (figure 13). On a dosé ces sédiments ainsi que le carbone et l'azote organiques, l'arsenic et le mercure totaux (tableau 22).

Concentrations de sédiments en suspension

En général, les concentrations de sédiments en suspension (figure 61) triplaient entre la station 37.7, à

Tableau 22. Caractéristiques des sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 (moyennes aux stations)

Paramètre	Numéro de la station					
	1.5*	6.8	20.5	19.3	37.7†	Rapport‡
Sédiments ($mg\ L^{-1}$)	4.1	3.5	4.9	8.4	1.4	2.9
Mercure total ($ng\ g^{-1}$)	333	357	80	170	83	4.0
Arsenic total ($mg\ kg^{-1}$)	12.1	11.4	13.7	13.0	9.9	1.2
Particule organique de carbone (%)	9.5	16.8	12.7	8.0	21.2	0.45
Particule d'azote (%)	1.2	1.2	1.5	1.0	3.1	0.38

* Niagara-on-the-Lake.
† Fort Érié.
‡ Rapport entre Niagara-on-the-Lake et Fort Érié.

l'entrée de la rivière, à Fort Érié, et la station de Niagara-on-the-Lake. Lors de l'échantillonnage dans les stations médianes en mai, on a mesuré des concentrations élevées aux stations 20.5 et 19.3, ce qui fait suite à l'action des vents forts sur le lac Érié, à l'érosion et à la remise en suspension des sédiments. Par ailleurs, en novembre, on a mesuré des concentrations élevées à la station 19.3.

Métaux dans les sédiments en suspension

Mercure total

Les concentrations de mercure total dans les sédiments en suspension du cours inférieur de la rivière Niagara étaient constamment de trois à quatre fois plus élevées que dans les sédiments du cours supérieur (figure 62). Cela signifie qu'il existe des sources très importantes de mercure qui se déversent dans la rivière, probablement entre les stations 19.3 et 6.8.

Arsenic total

Les concentrations d'arsenic total semblent également distribuées dans les sédiments en suspension de l'ensemble de la rivière (figure 63), même si on observe une légère augmentation entre Fort Érié et Niagara-on-the-Lake.

Carbone et azote organiques

L'analyse montre que les sédiments en suspension contiennent plus de ces éléments à Fort Érié qu'à Niagara-on-the-Lake (figures 64 et 65). Cela peut être dû à l'influence du lac Érié. Il se peut que les sédiments minéraux, plus lourds, se soient déjà déposés au fond du lac et que par conséquent, les sédiments en suspension soient riches en carbone. Par la suite, après avoir entré dans la rivière et descendu jusqu'à Niagara-on-the-Lake, des sédiments inorganiques sont remis en suspension, soit sous l'effet d'apports ou de l'affouillement des berges et du lit de la rivière, de sorte que la teneur en carbone est moindre à Niagara-on-the-Lake, c'est-à-dire à peu près 40 % de moins que ce qu'elle est à Fort Érié.

Contaminants organiques dans les sédiments en suspension

C'est en 1979 que le bureau de l'Ontario de la Direction de la qualité des eaux (RODQE) a entrepris de prélever les sédiments en suspension de la rivière Niagara en vue d'en doser les contaminants organiques. Les résultats, communiqués par Warry et Chan (1981), montraient que des quantités plus importantes de contaminants organiques tels que les BPC, le mirex et le p,p'-DDT, étaient présentes en aval de l'île Grand par rapport à l'amont (tableaux 23a et 23b).

Par conséquent, en 1981, la RODQE a entrepris un contrôle plus extensif des contaminants toxiques dans l'ensemble de la rivière. Les résultats en sont présentés ci-dessous.

Les isomères Alpha et Gamma-BHC

Comme l'α-BHC est un produit de dégradation du lindane (γ-BHC) (EPA, 1979) il n'est pas surprenant que ce dernier n'ait jamais été décelé dans les échantillons de sédiments en suspension. L'α-BHC a été décelé dans la moitié des échantillons. On ne décèle aucune répartition saisonnière (figure 66), même si les concentrations sont très faibles à toutes les stations en juillet. En octobre–novembre, les concentrations augmentent de Fort Érié à Niagara-on-the-Lake, d'un facteur d'environ 1.3 (tableau 24).

Heptachlore-époxyde et heptachlore

Dans aucun des 15 échantillons prélevés, on n'a décelé d'heptachlore. Les répartitions spatio-temporelles indiquent de faibles concentrations à toutes les stations sauf la 37.7, en juillet (figure 67). Les résultats ne montrent aucune tendance cohérente.

Les isomères Alpha et Gamma-chlordane

L'α-chlordane a été décelé dans 10 des 15 échantillons, en concentrations atteignant jusqu'à 21 $\mu g\ kg^{-1}$ (figure 68). Les concentrations à la station 37.7 étaient généralement aussi fortes ou même plus fortes que partout ailleurs dans la rivière. Si on compare les valeurs décelées à Niagara-on-the-Lake à celles qu'on a décelées à Fort Érié, on en déduit que le lac Érié est une source probable de ce composé.

Les isomères Alpha et Beta-endosulfan

Le β-endosulfan n'a été décelé que dans 2 des 15 échantillons prélevés, et dans la gamme de 20 à 30 $\mu g\ kg^{-1}$. L'α-endosulfan a été décelé dans 12 des 15 échantillons (figure 69) à des concentrations pouvant

Tableau 23a. Synopsis du pourcentage de cas où on a décelé des résidus de pesticides et de BPC totaux et des concentrations moyennes de ces résidus dans les sédiments en suspension à deux stations de la rivière Niagara, avril 1979–avril 1980

Résidus	Niagara-on-the-Lake analyses confirmées				Île Grand analyses confirmées			
	Échant. totaux	Nbre	C.M. (ng g^{-1})	E.T.	Échant. totaux	Nbre	C.M. (ng g^{-1})	E.T.
Mirex	41	27	19.4	49.5	3	0	ND	NC
Méthoxychlore	41	18	17.3	23.3	3	0	ND	NC
α-Chlordane	41	17	5.9	5.9	3	1	8.0	NC
γ-Chlordane	41	26	10.9	7.8	3	1	7.0	NC
Σ-Chlordane	41	27	15.8	12.8	3	2	7.5	0.5
p,p′-DDT	41	33	10	10	3	2	8.0	2.1
p,p′-DDE	41	38	24	12	3	2	15.5	1.5
p,p′-TDE (DDD)	41	16	5	4	3	0	ND	NC
o,p-DDT	41	1	15.0	NC	3	1	11.0	NC
DDT	41	41	30.4	16.3	3	3	21.7	11.6
α-Endosulfan	41	10	9.5	5.3	3	0	ND	NC
β-Endosulfan	41	0	ND	NC	3	0	ND	NC
Dieldrine	41	26	5	3	3	1	23.0	NC
Endrine	41	0	ND	NC	3	1	ND	NC
Aldrine	41	0	ND	NC	3	0	ND	NC
Heptachlore	41	0	ND	NC	3	0	ND	NC
Heptachlore-époxyde	41	7	3	3	3	0	ND	NC
Lindane	41	7	3.7	3.3	0	0	ND	NC
BPC	41	41	961	2196	3	3	260	35.0

C.M. – Concentration moyenne.
E.T. – Écart-type.
ND – Non décelé.
NC – Non calculé.
Source : Warry et Chan (1981).

Tableau 23b. Moyennes révisées, après exclusion des valeurs élevées

Résidus	Nbre d'observations	Conc. moy. (ng g^{-1})	Écart-type
Mirex	26	10.2	14.0
	25	7.8	5.4
BPC	38	534	489

atteindre 98 μg kg^{-1}. Aucune tendance saisonnière n'a été décelée. L'α-endosulfan était aussi 1.4 fois plus concentré à Niagara-on-the-Lake qu'à Fort Érié.

Aldrine, dieldrine et endrine

L'aldrine n'a été décelée dans aucun des 15 échantillons prélevés. L'endrine a été décelée dans 2 échantillons à des concentrations de 7 à 12 μg kg^{-1}. Alors la dieldrine a été décelée le plus fréquemment, atteignant des concentrations de 19 μg kg^{-1} (figure 70). Même si cette dernière semble également répartie dans l'ensemble de la rivière, les concentrations à Niagara-on-the-Lake étaient inférieures à celles de Fort Érié, ce qui indique que le lac Érié est sa source probable.

Tableau 24. Répartition des organochlorés (μg kg^{-1}, poids sec) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981 (moyennes aux stations)

Paramètre	Numéro de la station					Rapport‡
	1.5*	6.8	20.5	19.3	37.7†	
BPC totaux	367	613	ND	13	ND	>367
p,p′-DDT	25	7	8	2	1	25
α-Endosulfan	27	31	42	6	5	5.4
DDT total	35	40	20	28	25	1.4
α-BHC	12	14	3	ND	9	1.3
Mirex	1	3	1	ND	ND	>1.0
Dieldrine	6	11	14	3	9	0.7
p,p′-DDE	9	16	4	25	21	0.4
α-Chlordane	3	4	1	8	12	0.3
Chlorobenzènes						
Hexa	73	75	2	1	1	73
Tétra	60	70	ND	ND	ND	>60
Penta	37	47	2	ND	ND	>37
Tri	53	26	40	3	17	3.1
Di	190	110	155	39	81	2.3
Totaux	413	326	198	42	99	4.2

* Niagara-on-the-Lake.
† Fort Érié.
‡ Rapport entre Niagara-on-the-Lake et Fort Érié.

DDT et ses métabolites

Sous sa forme d'origine (p,p'-DDT), le DDT a été décelé dans 6 des 15 échantillons. Les répartitions spatio-temporelles (figure 71) indiquent que les concentrations sont habituellement supérieures (jusqu'à 25 fois) dans le cours inférieur de la rivière par rapport à celles du cours supérieur (tableau 24), ce qui signifie que des sources d'alimentation de ce composé vers la rivière subsistent. Ceci est plutôt surprenant car ce composé a été interdit au Canada en 1972. La rémanence du composé est bien connue et sa présence dans la rivière en 1981 pourrait s'expliquer par l'érosion en surface des particules de sol et leur entrainement jusque dans la rivière Niagara. Les échantillons de matières en suspension prélevés dans 105 cours d'eau du côté canadien du bassin des Grands lacs (Frank et coll., 1981) ont montré que les concentrations maximales de DDT ont été observées en 1974 dans les cours d'eau arrosant la péninsule du Niagara, où beaucoup de ces composés ont servi, par le passé, dans les vergers.

L'o,p-DDT, métabolite du DDT, n'a été décelé que dans un des 15 échantillons, à la concentration de 3 $\mu g\ kg^{-1}$.

Le p,p'-DDE a été décelé dans 14 des 15 échantillons (figure 72). Sa répartition semble générale dans la rivière. Les concentrations à Niagara-on-the-Lake étaient inférieures à celles qu'on a observées à Fort Érié (tableau 24). Comme ce composé se forme sous l'action d'organismes vivants à partir du DDT et qu'il est moins susceptible d'être biotransformé que le DDT ou le TDE (DDD) (EPA, 1979), il n'est pas surprenant que ce soit l'isomère le plus répandu du DDT dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara.

Le p,p'-TDE n'a été décelé que dans 3 des 15 échantillons, dans des concentrations de 2 à 36 $\mu g\ kg^{-1}$.

Les répartitions spatio-temporelles du DDT total, (figure 73), ne montrent aucune tendance saisonnière évidente. Les données montrent que les concentrations à Niagara-on-the-Lake sont environ 1.4 fois plus élevées qu'à Fort Érié (tableau 24).

Mirex

Le mirex a été décelé à la concentration de 2 $\mu g\ kg^{-1}$ dans un seul des 9 échantillons prélevés dans le cours supérieur de la rivière Niagara à la station 20.5 (figure 74). Toutefois, il a été décelé dans les échantillons prélevés dans le cours inférieur, ce qui signifie que des sources de ce composé y subsistent.

Méthoxychlore

Le méthoxychlore n'a été décelé que dans 4 des 15 échantillons, dans des concentrations de 15 à 74 $\mu g\ kg^{-1}$.

BPC totaux

Les BPC totaux ont été décelés dans les 6 échantillons du cours inférieur de la Niagara, mais dans un seul des 9 du cours supérieur (figure 75). Les échantillons prélevés à Niagara-on-the-Lake en contenaient beaucoup plus (367 $\mu g\ kg^{-1}$) que ceux de Fort Érié (moins de 1 $\mu g\ kg^{-1}$) (tableau 24). Ceci signifie qu'il existe des sources de BPC entre les deux parties de la rivière.

Dérivés chlorés du benzène

Les données présentées dans le tableau 24 montrent que les concentrations moyennes des dérivés chlorés du benzène dans les sédiments en suspension étaient constamment plus élevées à Niagara-on-the-Lake qu'à Fort Érié. Le rapport de ces concentrations variait de 73 dans le cas de l'hexachlorobenzène, à 2.3 dans celui des dichlorobenzènes. Une augmentation importante des concentrations semble se produire entre l'amont et l'aval de la rivière Niagara (figures 76 à 81). Ceci signifie qu'il existe des sources importantes de ces matières dans la rivière. La plus probable est l'usine de traitement des eaux usées de Niagara Falls dans l'état de New York.

BIOTE—QUEUE À TACHE NOIRE (Notropis Hudsonius)

Ces dernières années, les inquiétudes face à la toxification croissante des poissons et des organismes vivants du bassin des Grands lacs, notamment du lac Ontario, sont allées en augmentant. Beaucoup de poissons qui y vivent contiennent des concentrations de contaminants tels que mercure, BPC et mirex ce qui constitue un risque pour l'homme qui en consomme. D'autres chercheurs (Suns et Rees, 1978) ont découvert que le queue à tache noire (*Notropis hudsonius*) est un indicateur utile de la contamination par les organochlorés dans les habitats près des rives à cause

de sa mobilité limitée. C'est pourquoi, à la mi-septembre 1982, on en a capturé à sept stations du cours supérieur et inférieur de la rivière Niagara (figure 82).

Capture et analyse

Les poissons ont été capturés à l'aide d'une seine de 20 m, à mailles de 0.6 cm, à la proximité immédiate des rives. La plupart ont été capturés grâce à la collaboration généreuse de M. Karl Suns, du ministère de l'Environnement de l'Ontario. Les détails de l'emplacement des stations de capture sont donnés au tableau 25.

Tableau 25. Description des stations de capture de queues à tache noire dans la rivière Niagara, 1982

Station	Description
A	En amont immédiat de l'ouvrage d'adduction d'eau de Niagara-on-the-Lake
B	Peggy's Eddy, près de l'exutoire de S.C.A.
C	Au large de Queenston, en aval du dock à sable
D	À la station de recherche et de sauvetage, de la rive américaine, en amont immédiat des chutes américaines
E	À proximité immédiate de la décharge de la 102e rue
F	À proximité immédiate de l'embouchure du ruisseau Frenchman
G	En aval immédiat du pont de la Paix, du côté canadien

Après la capture, le poisson a été immédiatement congelé dans la glace sèche et gardé tel jusqu'à l'analyse.

L'analyse qualitative et quantitative des contaminants a été réalisée dans le laboratoire de la RODQE, à Burlington, conformément aux méthodes du *Manuel des méthodes analytiques* (Environnement Canada, 1979).

Contaminants organiques chez le queue à tache noire

À chacune des sept stations, on a dosé 18 des contaminants organochlorés, y compris les BPC totaux et 11 dérivés chlorés du benzène. Parmi ces contaminants, le lindane (γ-BHC), l'heptachlore, l'aldrine, l'heptachlore époxyde, le γ-chlordane, le α- et le β-endosulfan, l'endrine, le p,p'-TDE, le p,p'-DDT et le méthoxychlore n'ont pas été décelés à des concentrations supérieures à la limite de détection de 4 ng g^{-1}. Les autres composés, énumérés dans l'ordre décroissant du nombre de fois où ils ont été décelés sont les BPC (6), le p,p'-DDE (4), la dieldrine (4), le mirex (3), le α-BHC (2), le α-chlordane (1) et le o,p-DDT (1). Parmi les 11 dérivés chlorés du benzène, seul le dichloro-1,4 benzène a été décelé dans plus de deux échantillons (quatre fois). Plusieurs, c'est-à-dire le trichloro-1,2,4, le tétrachloro-1,2,3,4 et le pentachlorobenzène n'ont été décelés dans aucun des échantillons.

Les répartitions spatiales des contaminants les plus fréquents sont données aux figures 84–88. Les chiffres montrent que les concentrations de BPC sont relativement élevées, notamment aux stations D et E. À l'exception de ceux de la station du ruisseau Frenchman, tous les échantillons enfreignaient l'objectif de 100 ng g^{-1} établi par l'Accord de 1978, relativement aux BPC dans le poisson. Les concentrations de mirex étaient inférieures à la limite de détection (4 ng g^{-1}) sauf aux stations A, B et C du cours inférieur de la rivière. Les concentrations de DDT total, y compris surtout le p,p'-DDE, variaient entre 5 à 51 ng g^{-1} à la station D et B respectivement. Pour ce composé, aucune tendance n'était évidente. Les stations A et E recelaient des concentrations de DDT total inférieures à la limite de détection (4 ng g^{-1}). La concentration de dieldrine se tenait près de la limite de détection de 4 ng g^{-1} ou au-dessous, aux sept stations. Des 11 dérivés chlorés du benzène dosés, seul le dichloro-1,4 benzène se trouvait à des concentrations supérieures à la limite de détection qui est de 50 ng g^{-1}, à quatre stations (A, C, D et G).

Métaux à l'état de trace chez le queue à tache noire

L'analyse de certains métaux (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn) a été réalisée pour trois des sept stations montrées à la figure 82). Elle n'a porté que sur ces trois stations parce qu'il manquait de poissons des quatre autres stations pour l'analyse. Les trois stations en question sont celles du ruisseau Frenchman (F) dans la haute Niagara, la station de Queenston (C) et celle de Niagara-on-the-Lake (A) du cours inférieur de la rivière (tableau 26).

Le chrome n'a été décelé nulle part à des concentrations supérieures à la limite de détection de 0.20 mg kg^{-1}. Le cadmium était de deux à trois fois plus concentré chez le queue à tache noire du cours inférieur de la rivière. Le nickel et le zinc étaient quelque peu concentrés dans le poisson du cours inférieur de la rivière. Le plomb l'était de trois à quatre

Tableau 26. Métaux à l'état de trace (mg kg^{-1}) chez la queue à tache noire dans la rivière Niagara, septembre 1982

Paramètre	Niagara-on-the-Lake (A)	Queenston (C)	Frenchman's Creek (F)
Cadmium	0.070	0.080	0.030
Chrome	0.20	0.20	0.20
Cuivre	0.51	0.71	0.84
Nickel	0.030	0.040	0.025
Plomb	0.080	0.080	0.025
Zinc	31.6	40.9	38.2

fois plus élevé dans les échantillons du cours inférieur de la rivière tandis que le zinc ne semblait pas montrer de tendance vers l'augmentation entre l'amont et l'aval.

RÉSUMÉ

En 1979, les différences de concentration du fer total, du manganèse total et du zinc total, le long de la section transversale du chenal Tonawanda, étaient significatives à un seuil de confiance de 95 %. La concentration de la plupart des métaux était significativement plus élevée dans ce chenal que dans le chenal Chippawa.

Les concentrations de fer total ont souvent enfreint l'Accord de 1978, notamment au cours d'orages au-dessus de la cuvette orientale du lac Érié. D'autres paramètres tels que la turbidité, les coliformes et le phosphore total ont aussi beaucoup augmenté au cours de ces événements.

Au cours d'une étude des métaux à l'état de trace dans la rivière Niagara, en mai 1981, on a observé plusieurs infractions aux objectifs de l'Accord de 1978. À une station (34.6B), immédiatement en aval de deux effluents de la Buffalo Sewer Authority, on a observé des infractions aux objectifs de l'Accord de 1978 pour ce qui est du zinc, du nickel, du cadmium et du cuivre.

Avant 1979, il était impossible, par les méthodes d'analyse, de déceler beaucoup des organochlorés présents dans les eaux de la rivière Niagara. En 1979, avec l'abaissement des limites de détection, on a pu identifier le lindane et le α-BHC dans plus de la moitié des échantillons prélevés. En 1981, on a décelé les BPC totaux, le α-BHC et le di-, le tri- et le tétrachlorobenzène dans plus de la moitié des échantillons, à des concentrations moyennes supérieures à 1 ng L^{-1}.

En 1981, au cours de prélèvements sur la rivière Niagara, on a utilisé un nouvel échantillonneur (McCrea, 1982) capable d'extraire des matières organiques d'un échantillon d'eau de 200 L. Les résultats ont montré que les concentrations d'heptachlore-époxyde, de α-endosulfan, de BPC totaux, de p,p'-DDE et de γ-BHC et de tous les chlorobenzènes, excepté le dichlorobenzène, augmentent en concentration, dans la fraction aqueuse (définition opérationnelle) d'un facteur de plus de 2 entre Fort Érié et Niagara-on-the-Lake. Cela signifie que des sources importantes de ces composés donnent sur la rivière.

Cinq zones importantes de contamination ont été délimitées au cours du contrôle des sédiments du lit de la rivière, en 1981. Il s'agit de la partie aval du Black Rock Canal, des environs du ruisseau Scajaquada, des parages de l'île Tonawanda, du Love canal et de la rivière Little, de la rivière Buffalo, des environs de l'île Strawberry et de la région de Queenston. Dans beaucoup de ces zones, on a observé des concentrations élevées de métaux, souvent supérieures aux critères du MEO concernant les déblais de dragage. Ces résultats concernent les métaux extractibles au HCl 0.5 *N*. Les objectifs concernent les métaux totaux. Par conséquent, le nombre d'infractions ainsi décelé est nécessairement inférieur à la réalité car l'analyse des métaux extractibles donne des résultats inférieurs à ceux de l'analyse des métaux totaux. Les concentrations de métaux et le nombre d'infractions étaient constamment plus élevés du côté américain de la rivière. L'analyse granulométrique a montré qu'il existait une certaine corrélation entre les métaux, mais non entre les métaux et le pourcentage d'argile et de limon, ce qui signifie que la concentration des métaux ne dépend pas du pouvoir d'adsorption des sédiments, mais plutôt d'autres facteurs tels que l'emplacement des sources ou la vitesse du courant aux stations d'échantillonnage. On a aussi observé des concentrations élevées de contaminants organiques dans ces zones. Aucun des contaminants organiques n'était corrélé de façon significative au pouvoir d'adsorption des sédiments caractérisé par le pourcentage d'argile et de limon ou par le pourcentage de matières volatiles. Cela signifie que les concentrations de contaminants ne sont pas liées à différents types de sédiments, mais plutôt aux sources dans les zones échantillonnées.

Les contrôles des sédiments en suspension en cinq stations de la rivière Niagara, en 1981, ont montré que les concentrations sont plus élevées à Niagara-on-the-Lake qu'à Fort Érié. Cette concentration quasi-

ment triple résulte probablement de l'erosion, de l'affouillement du lit de la rivière et d'apports sur son cours. Toutefois, la teneur en carbone et en azote organiques dans les sédiments en suspension à Niagara-on-the-Lake n'était que de 40 % de celle qu'on a observée à Fort Érié. Ceci signifie qu'il y a ajout de matières inorganiques dans la rivière, sur son cours. Les concentrations de mercure à Niagara-on-the-Lake étaient à peu près quatre fois plus élevées qu'à Fort Érié, ce qui dénote la présence de sources de cet élément dans la rivière. Certains composés pour lesquels le lac Érié semble une source notable vers la rivière Niagara sont le p,p'-DDE, le α-BHC, le p,p'-TDE, la dieldrine et le α-chlordane.

En 1979, on a observé que les sédiments en suspension dans le cours inférieur de la rivière Niagara étaient plus chargés de contaminants organiques que dans le cours supérieur. Des données supplémentaires, recueillies en 1981, montrent que les sédiments en suspension dans le cours inférieur sont considérablement enrichis en matières organiques, notamment en BPC, en p,p'-DDT, en α-endosulfan et en chlorobenzènes.

Des BPC, le p,p'-DDE et la dieldrine ont été décelés dans plus de la moitié des stations où on a capturé des queues à tache noire.

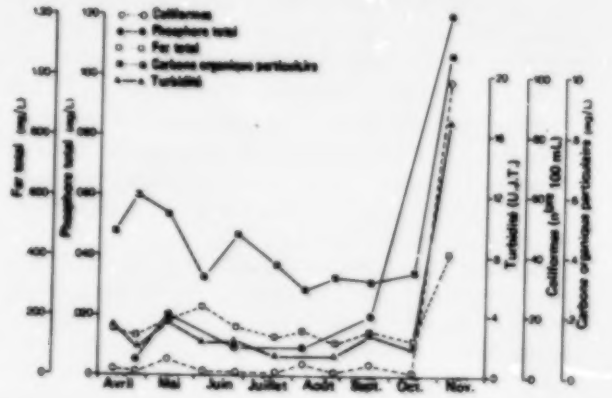
Des concentrations élevées de BPC ont été observées chez le queue à tache noire capturé à deux stations du côté américain du cours supérieur de la Niagara soit près de la décharge de la 102e rue et en aval immédiat de la Hooker Chemical, à la station de recherche et de sauvetage en amont immédiat des chutes américaines.

Nonobstant la station du ruisseau Frenchman, aux six autres stations de la rivière Niagara les BPC enfreignaient l'objectif précis de l'Accord de 1978 (pour le poisson) soit 100 ng g^{-1}.

Chez les queues à tache noire capturés dans le cours inférieur de la rivière, la concentration de cadmium était de deux à trois fois plus élevée que chez les congénères du cours supérieur; en ce qui concerne le nickel et le zinc, les concentrations étaient quelque peu supérieures tandis que dans le cas du plomb, elles étaient de trois à quatre fois plus élevées.

← **Figure 2. Emplacement des stations d'échantillonnage dans le cours supérieur de la rivière Niagara.**

Figure 4. Effets des orages de décembre 1979 sur les paramètres observés à la station 20.5A, dans le cours supérieur de la rivière Niagara. ↓



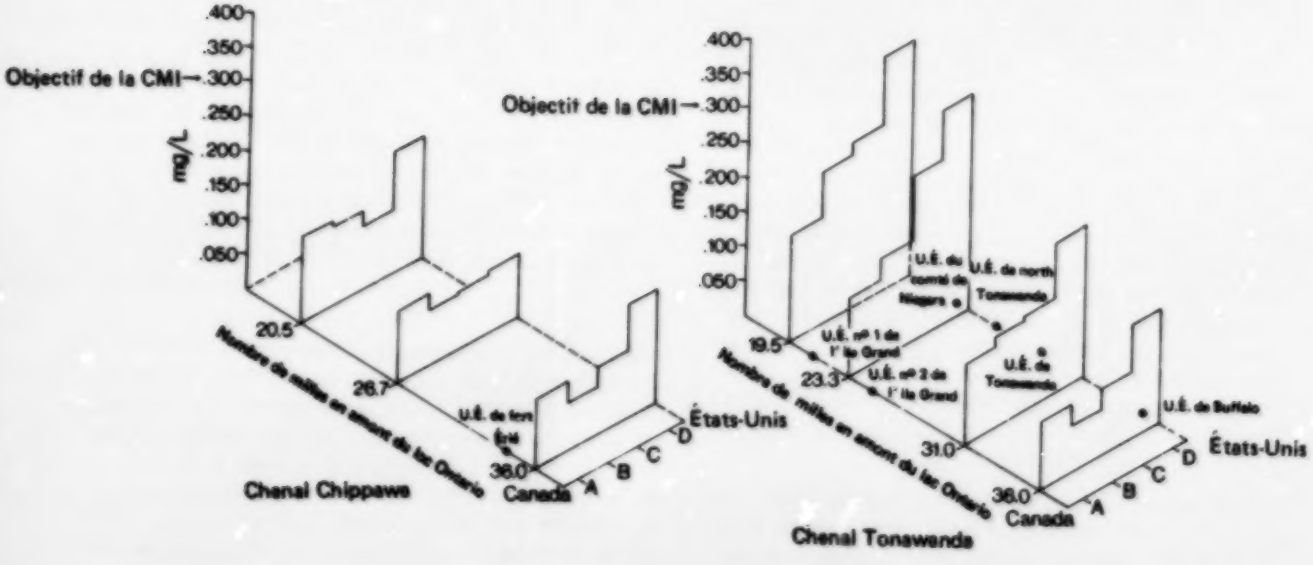


Figure 3. Concentrations moyennes de fer total (mg L^{-1}) dans le cours supérieur de la rivière Niagara, 1979.

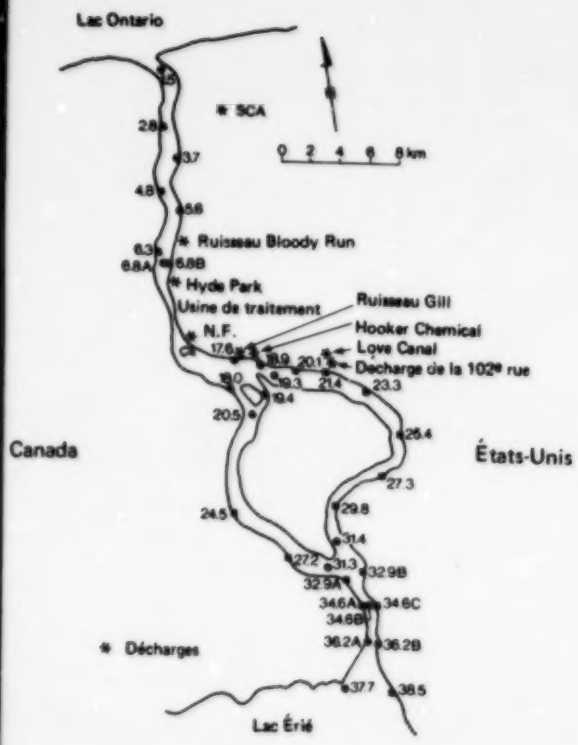


Figure 5. Emplacement des stations d'échantillonnage de la rivière Niagara : mai 1981, métaux à l'état de trace.

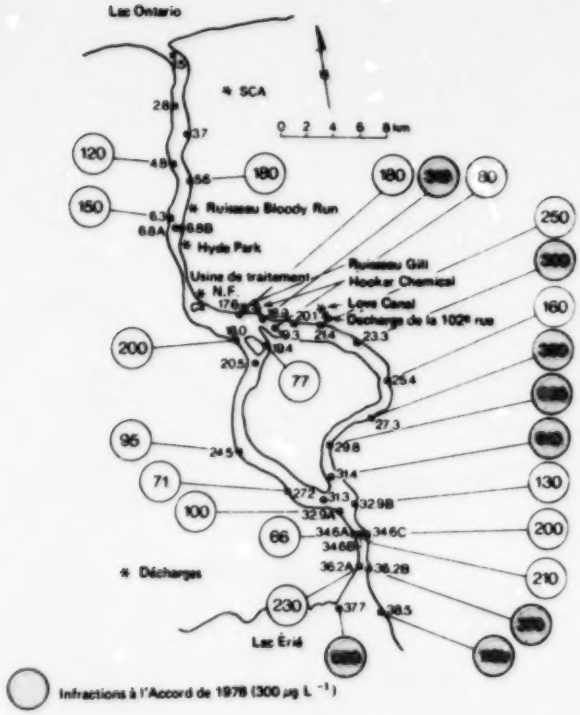


Figure 6. Concentrations de fer total (µg L $^{-1}$) dans l'eau de la rivière Niagara, mai 1981.

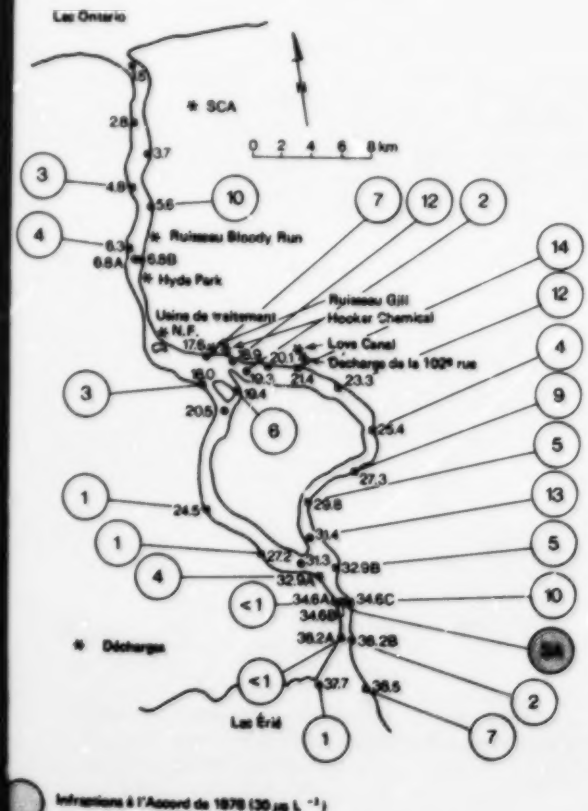


Figure 7. Concentrations de zinc total (µg L $^{-1}$) dans l'eau de la rivière Niagara, mai 1981.

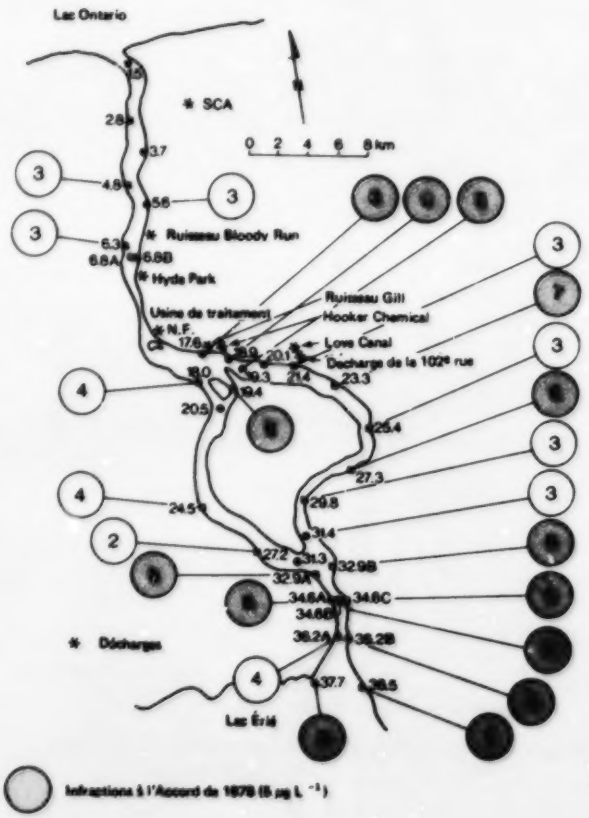


Figure 8. Concentrations de cuivre total (µg L $^{-1}$) dans l'eau de la rivière Niagara, mai 1981.

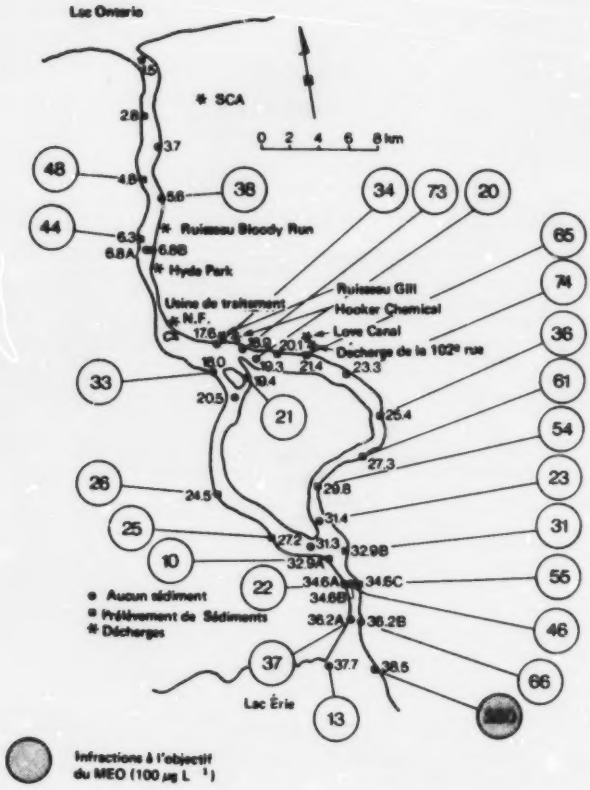


Figure 9. Concentrations d'aluminium extractible (µg L $^{-1}$) dans l'eau de la rivière Niagara, mai 1981.

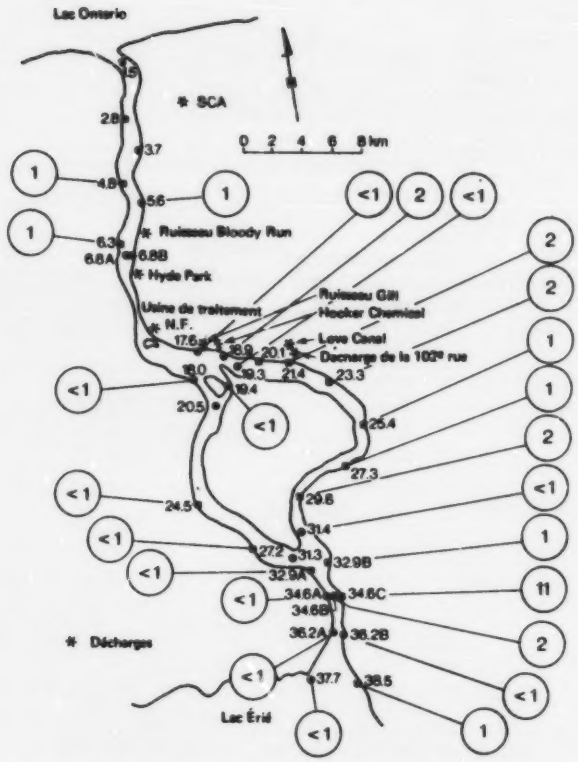


Figure 10. Concentrations de chrome total (µg L $^{-1}$) dans l'eau de la rivière Niagara, mai 1981.

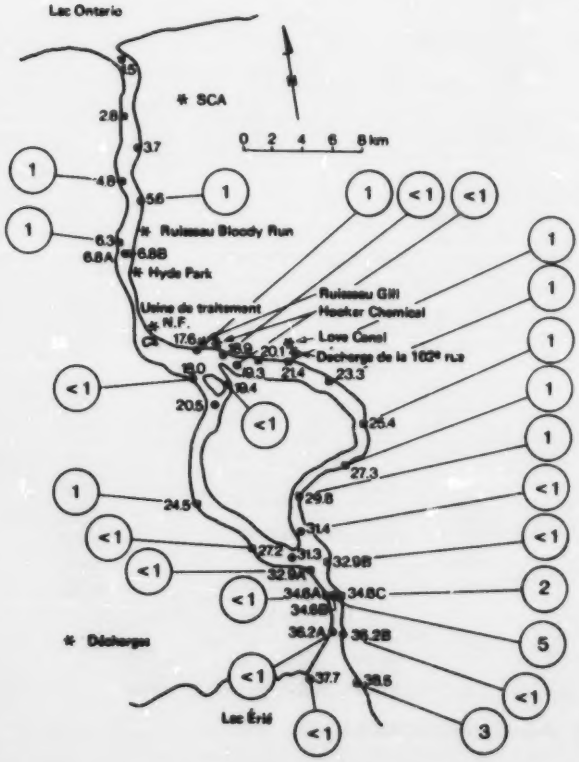


Figure 11. Concentrations de plomb total (µg L^{-1}) dans l'eau de la rivière Niagara, mai 1981.

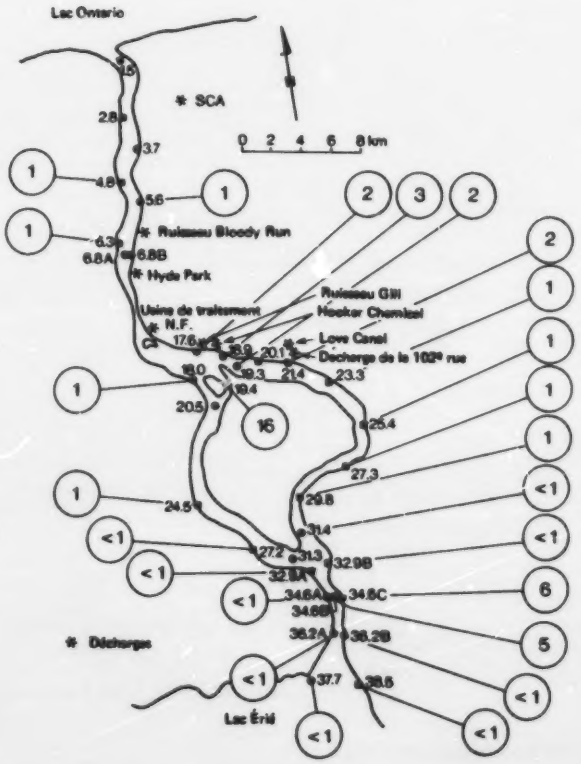


Figure 12. Concentrations de nickel total (µg L^{-1}) dans l'eau de la rivière Niagara, mai 1981.

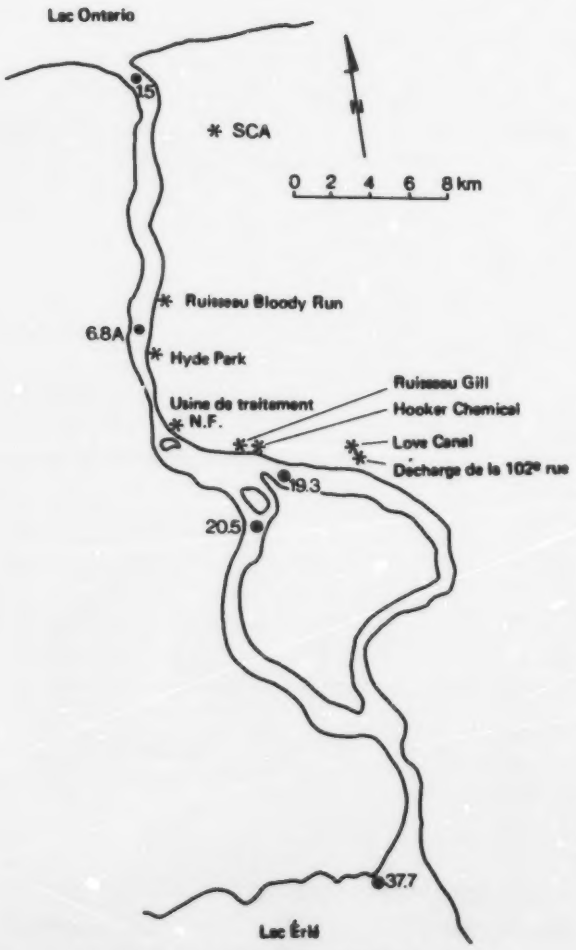


Figure 13. Emplacement des stations de prélèvement d'eau (tout-venant) et de gros échantillons de la phase aqueuse dans la rivière Niagara, 1981.

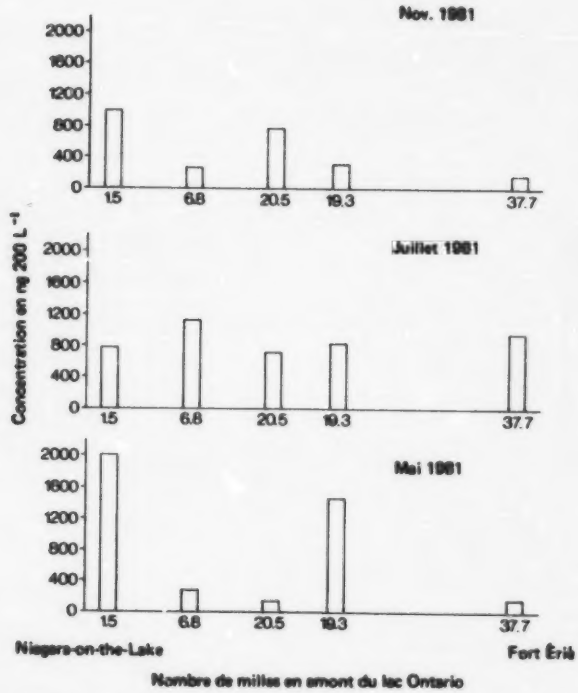


Figure 14. Répartition du α-BHC (ng 200 L^{-1}) dans l'eau de la rivière Niagara, 1981.

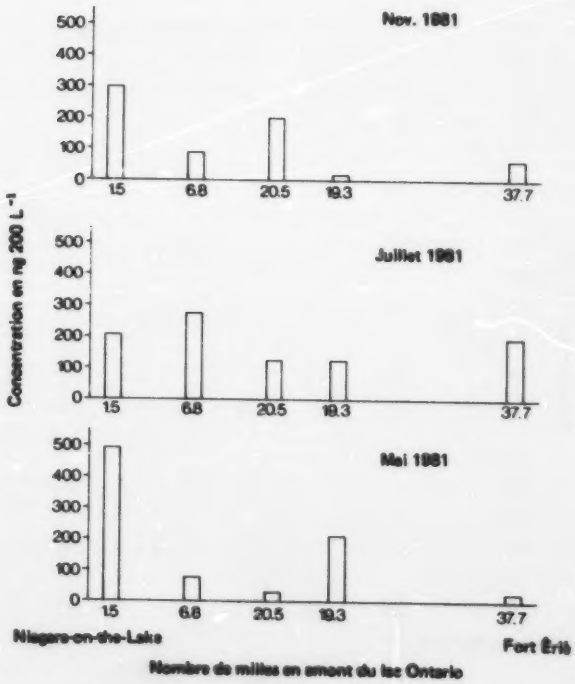


Figure 15. Répartition du γ-BHC (ng 200 L^{-1}) dans l'eau de la rivière Niagara, 1981.

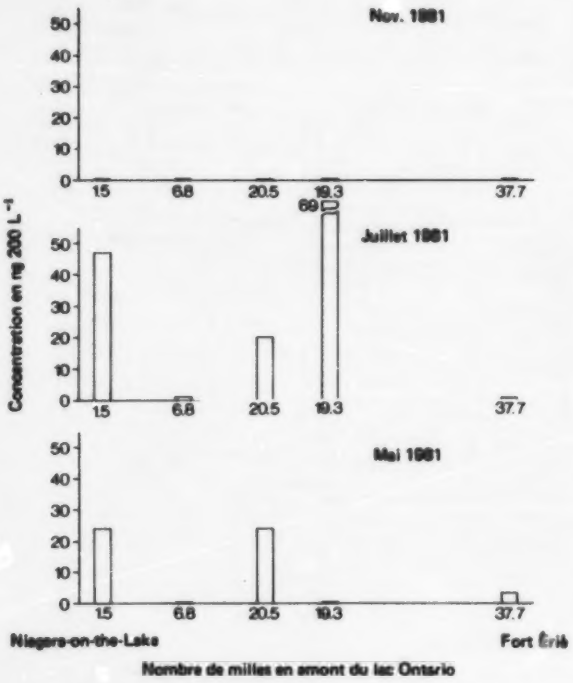


Figure 16. Répartition de l'heptachlore-époxyde (ng 200 L $^{-1}$) dans l'eau de la rivière Niagara, 1981.

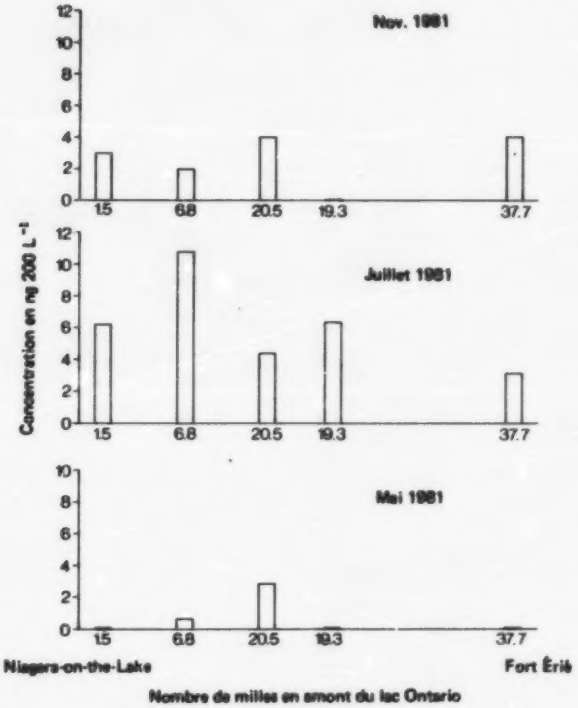


Figure 17. Répartition de l'endrine (ng 200 L $^{-1}$) dans l'eau de la rivière Niagara, 1981.

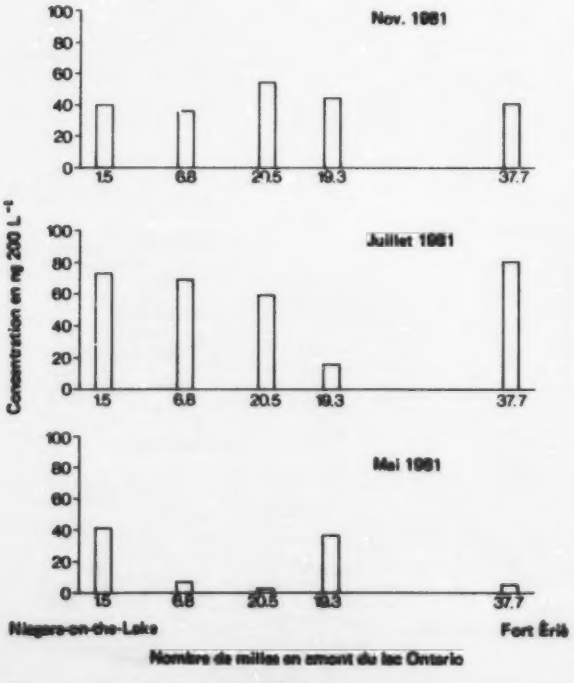


Figure 18. Répartition de la dieldrine (ng 200 L^{-1}) dans l'eau de la rivière Niagara, 1981.

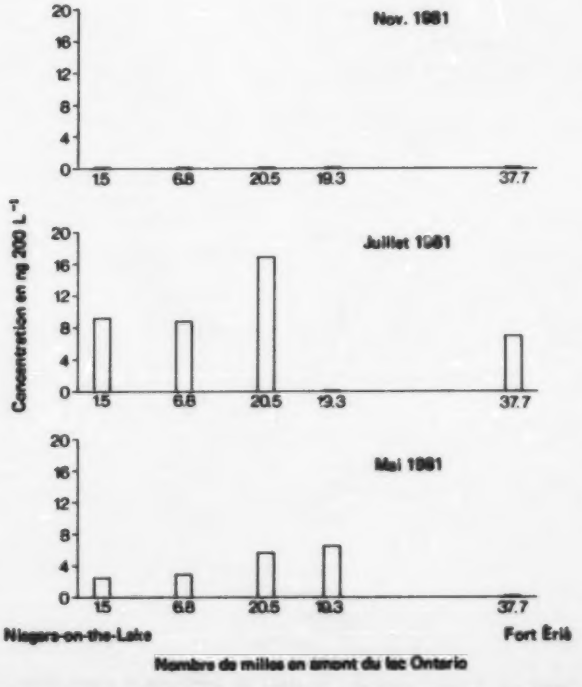


Figure 19. Répartition du p,p'-DDT (ng 200 L^{-1}) dans l'eau de la rivière Niagara, 1981.

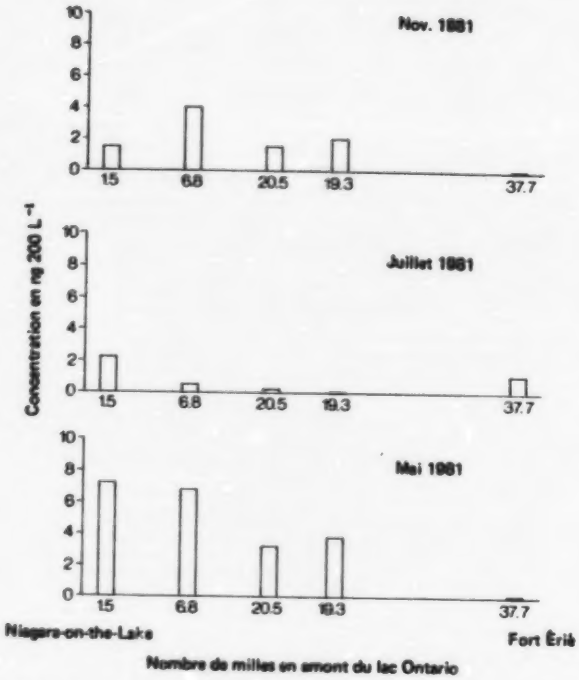


Figure 20. Répartition du p,p'-DDE (ng 200 L^{-1}) dans l'eau de la rivière Niagara, 1981.

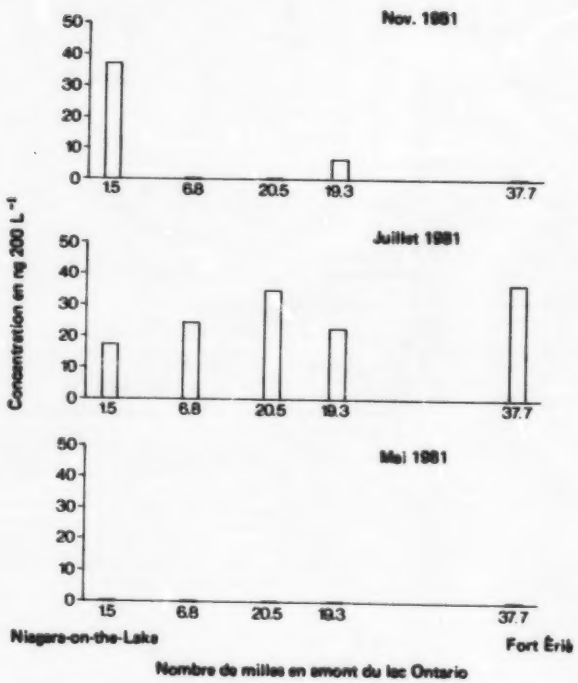


Figure 21. Répartition du p,p'-TDE (ng 200 L^{-1}) dans l'eau de la rivière Niagara, 1981.

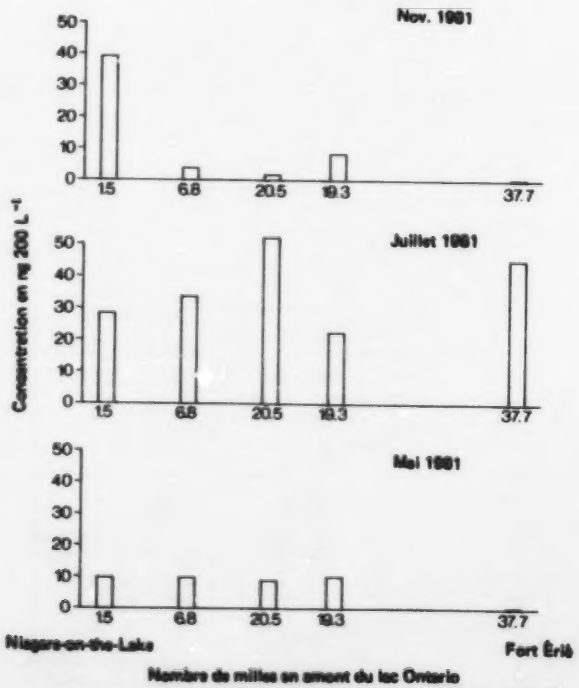


Figure 22. Répartition du DDT total (ng 200 L^{-1}) dans l'eau de la rivière Niagara, 1981.

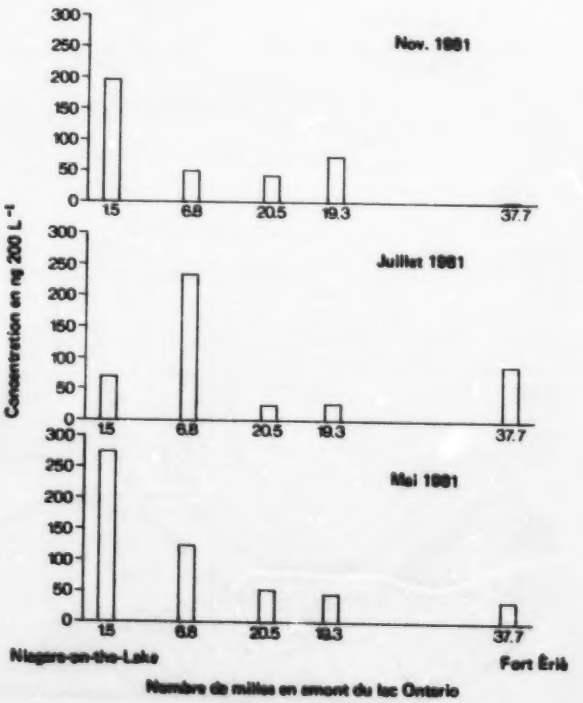


Figure 23. Répartition des BPC totaux (ng 200 L^{-1}) dans l'eau de la rivière Niagara, 1981.

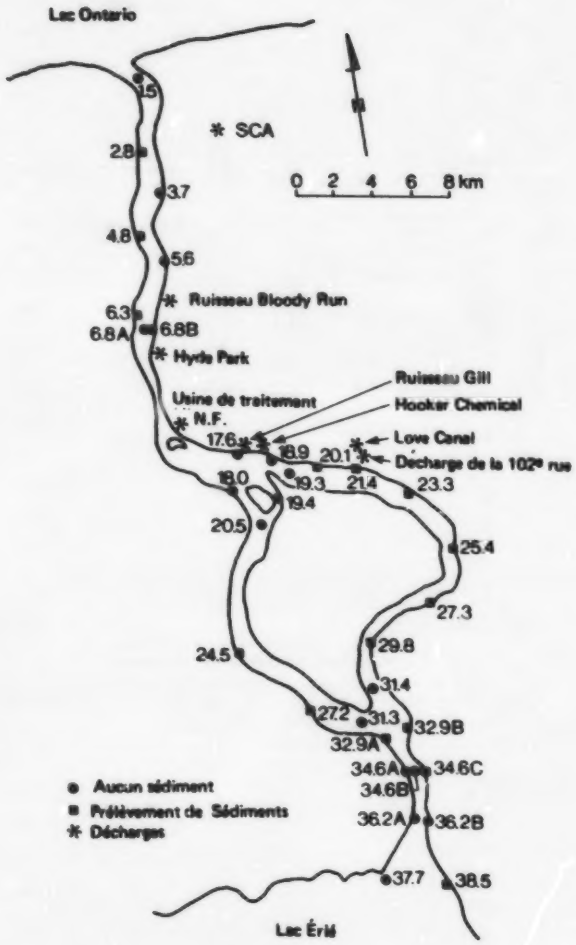


Figure 24. Stations d'échantillonnage des sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

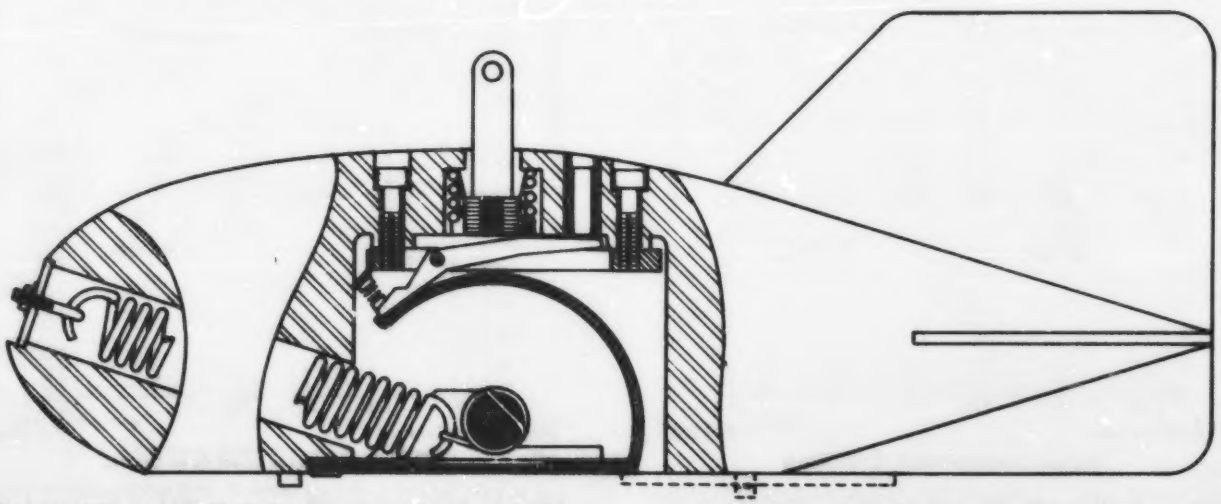


Figure 25. Échantillonneur (USBM-54) utilisé pour prélever les sédiments du lit de la rivière Niagara, 1981.

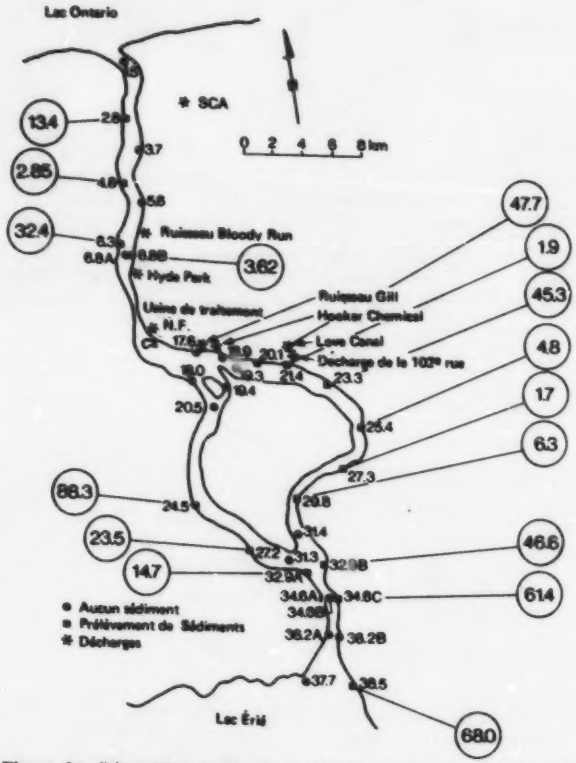


Figure 26. Répartition de l'argile et du limon (pourcentage) dans le lit de la rivière Niagara, mai 1981.

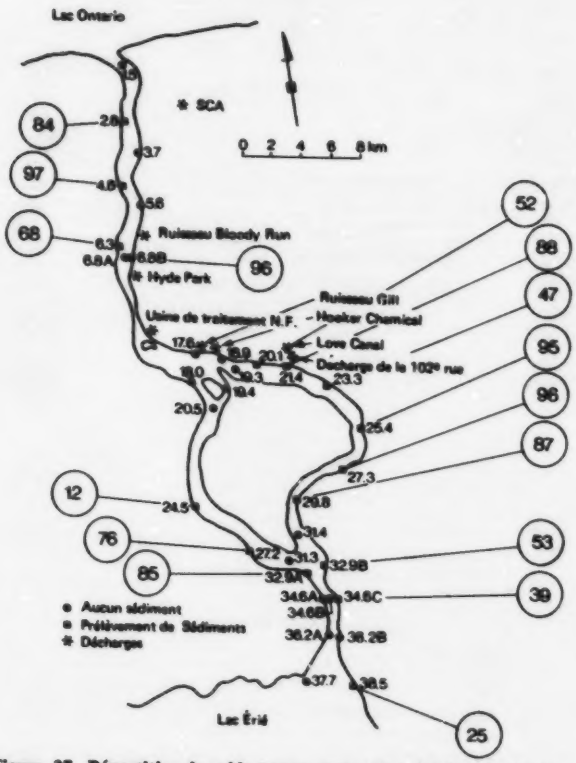


Figure 27. Répartition du sable (pourcentage) dans le lit de la rivière Niagara, mai 1981.

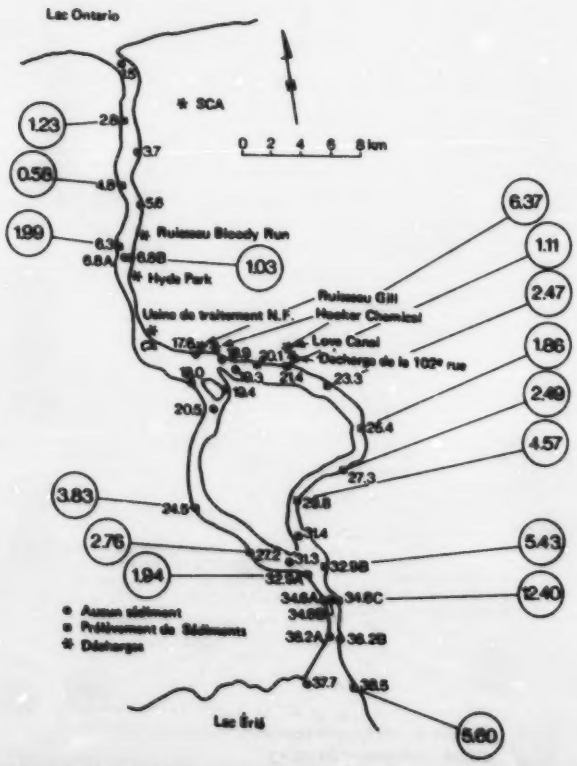


Figure 28. Répartition des matières volatiles (pourcentage) dans le lit de la rivière Niagara, mai 1981.

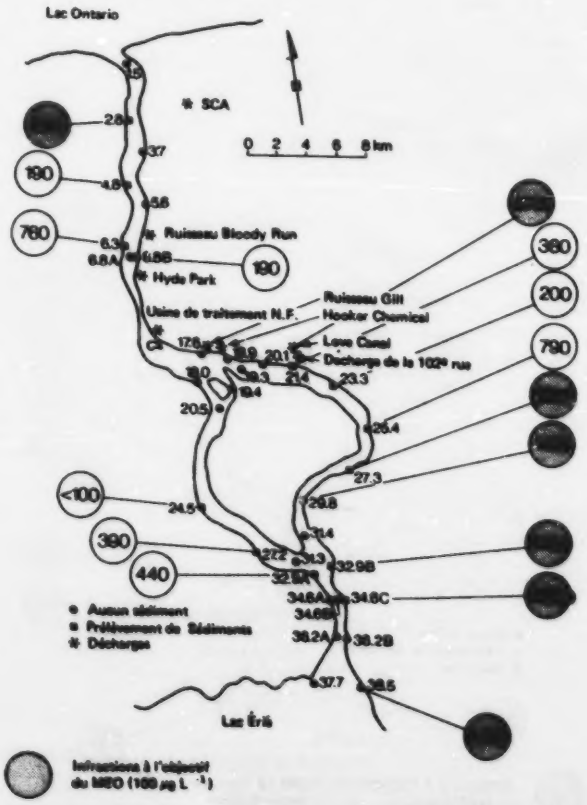
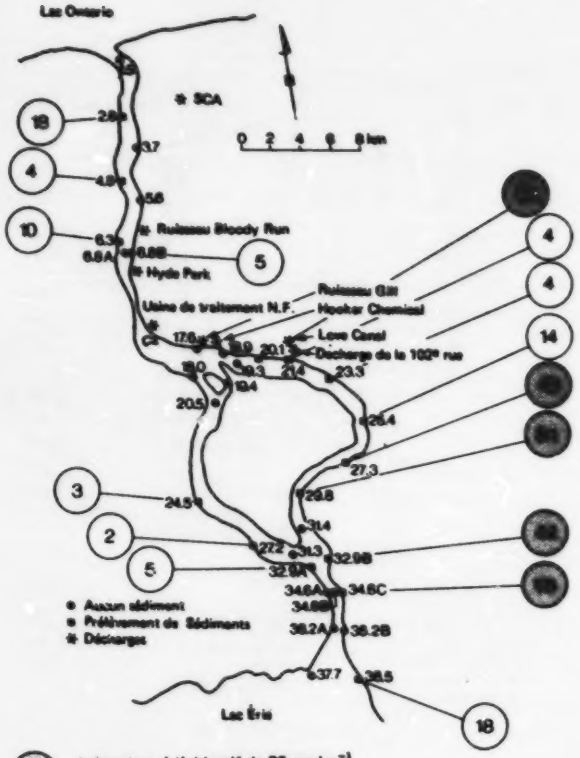
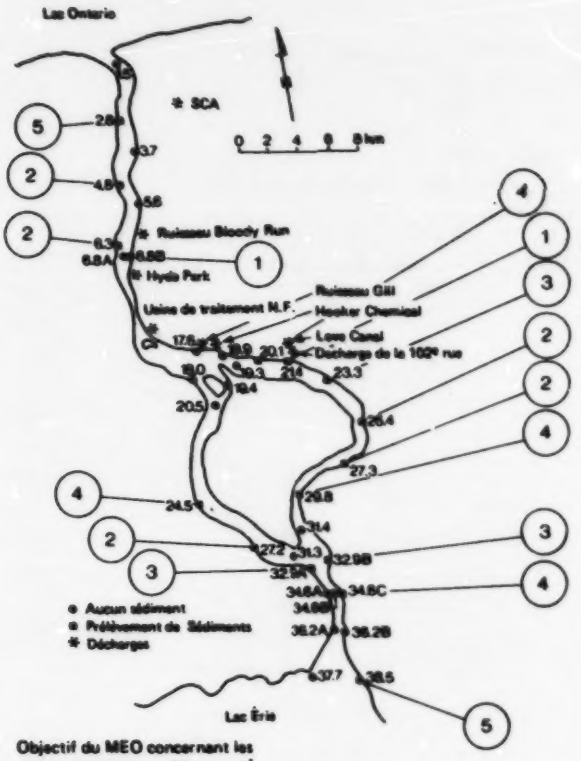


Figure 29. Répartition du cadmium extractible (µg kg⁻¹) (par HCl 0.5 *N*) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.



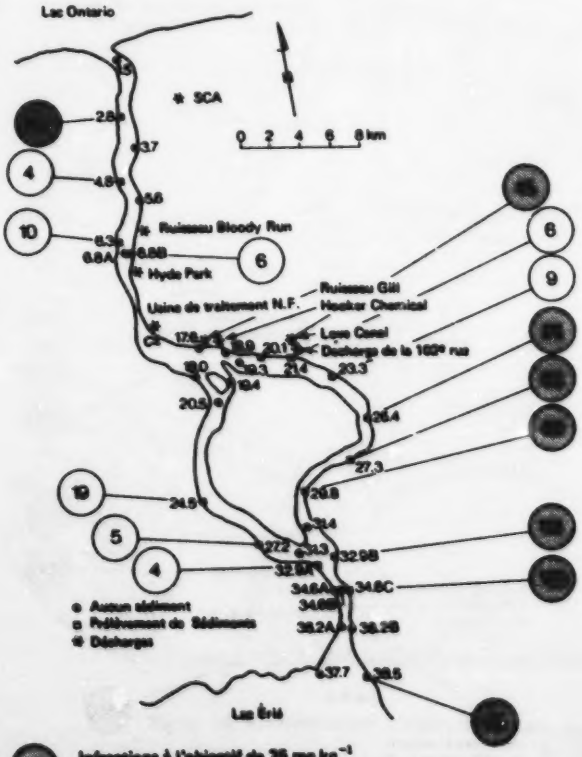
Infractions à l'objectif de 25 mg kg^{-1} du MEO concernant les déblais de dragage

Figure 30. Répartition du chrome (mg kg^{-1}) extractible (par HCl 0.5 *N*) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.



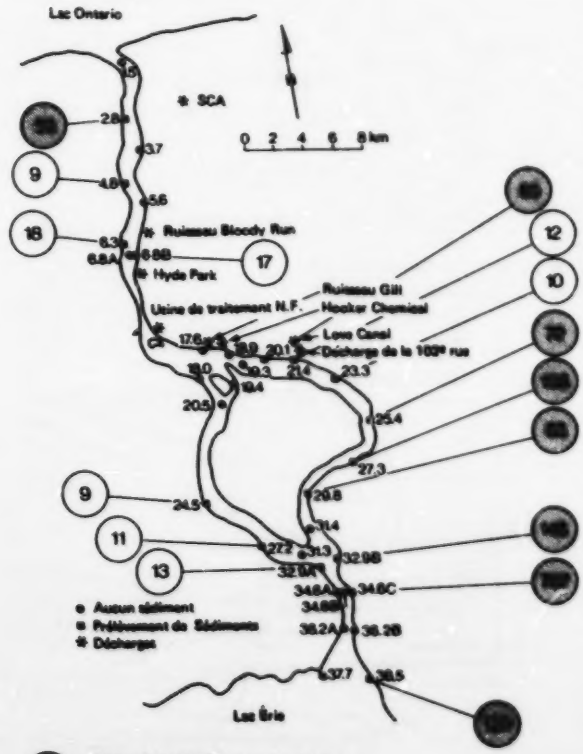
Objectif du MEO concernant les déblais de dragage = 50 mg kg^{-1}

Figure 31. Répartition du cobalt (mg kg^{-1}) extractible (par HCl 0.5 *N*) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.



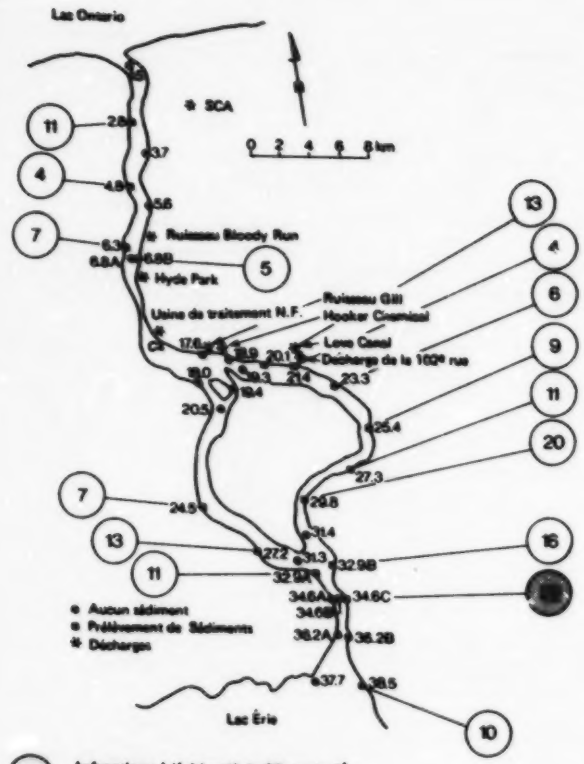
Infractions à l'objectif de 25 mg kg^{-1} du MEO concernant les déblais de dragage

Figure 32. Répartition du cuivre (mg kg^{-1}) extractible (par HCl 0.5 *N*) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.



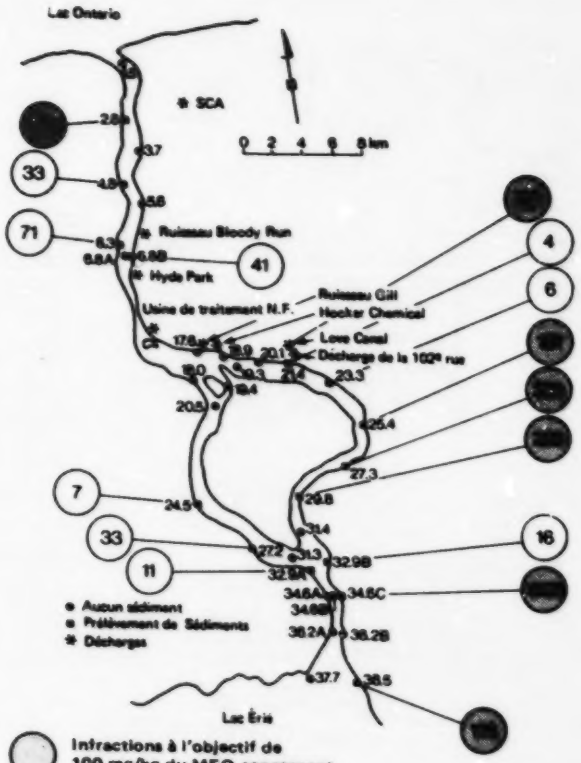
Objectif du MEO concernant les déblais de dragage = 50 mg kg^{-1}

Figure 33. Répartition du plomb (mg kg^{-1}) extractible (par HCl 0.5 *N*) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.



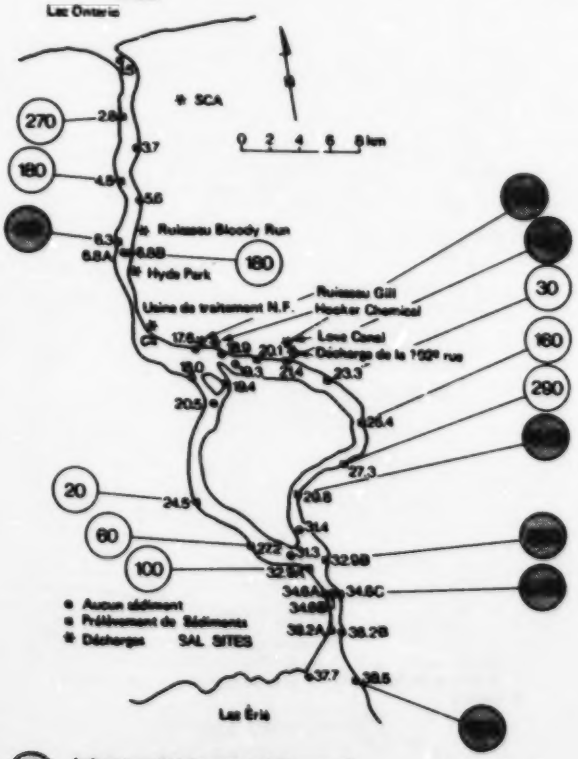
Infractions à l'objectif de 25 mg kg^{-1} du MEO concernant les déblais de dragage

Figure 34. Répartition du nickel (mg kg^{-1}) extractible (par HCl 0.5 *N*) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.



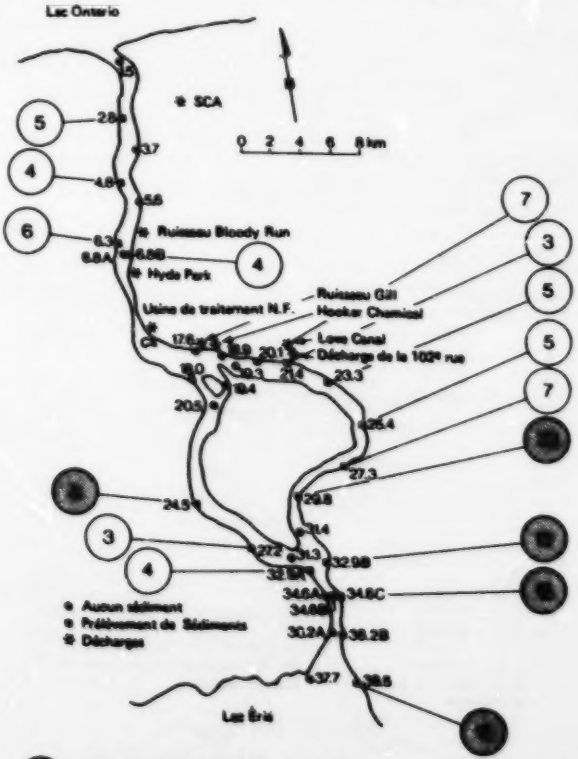
Infractions à l'objectif de 100 mg/kg du MEO concernant les déblais de dragage

Figure 35. Répartition du zinc (mg kg^{-1}) extractible (par HCl 0.5 *N*) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.



Infractions à l'objectif de 300 µg kg^{-1} du MEO concernant les déblais de dragage

Figure 36. Répartition du mercure total (µg kg^{-1}) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.



Infractions à l'objectif de 8 mg kg^{-1} du MEO concernant les déblais de dragage

Figure 37. Répartition de l'arsenic total (mg kg^{-1}) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

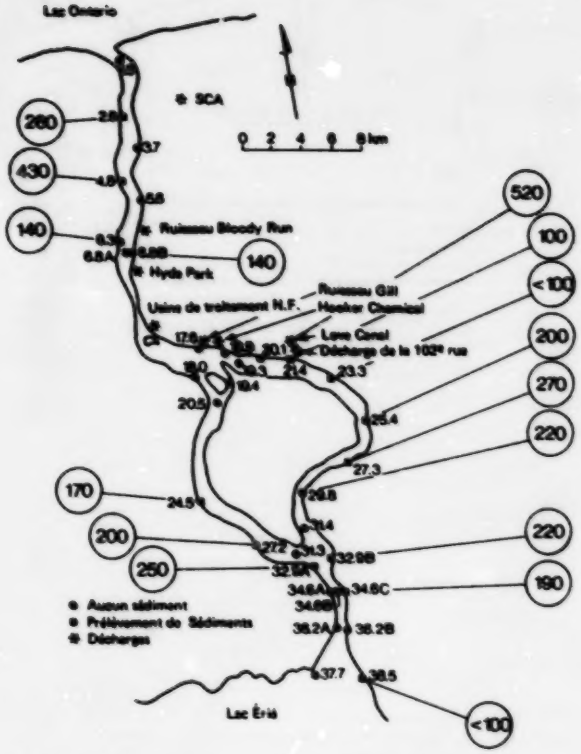


Figure 38. Répartition du sélénium total (μg kg⁻¹) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

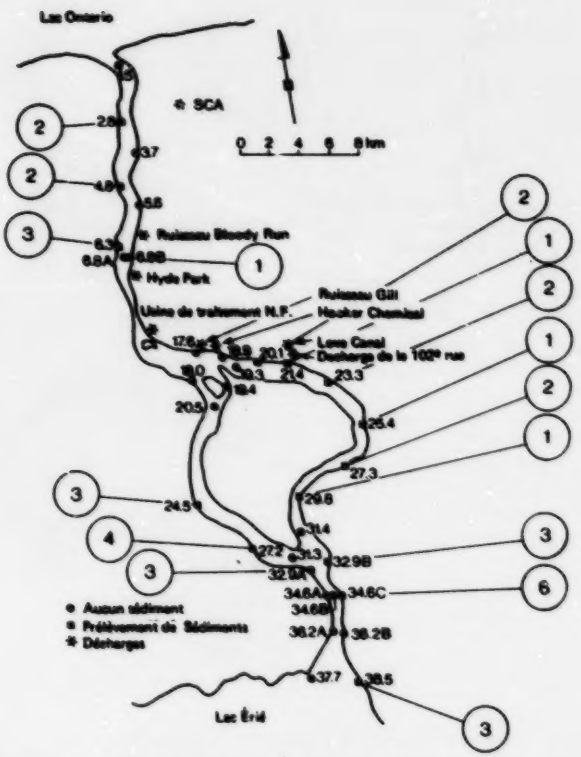


Figure 39. Répartition du carbone organique (pourcentage) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

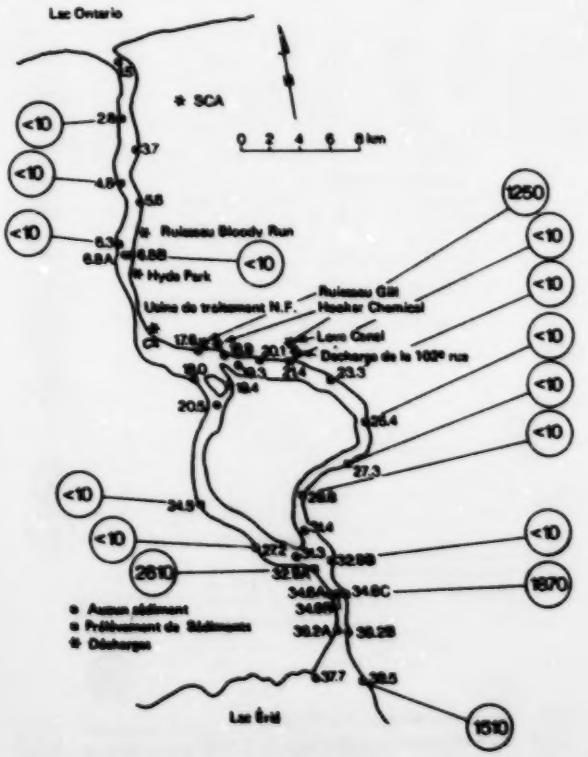


Figure 40. Répartition de l'azote organique (mg kg⁻¹) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

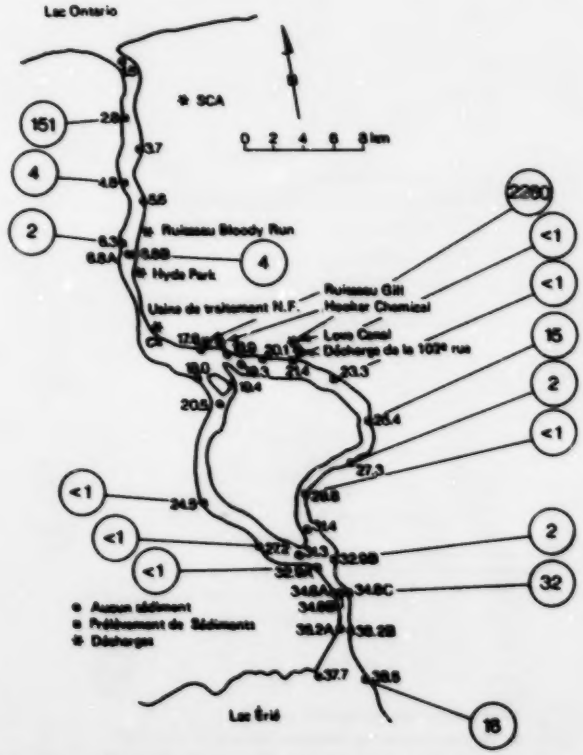


Figure 41. Répartition du α-BHC (lindane) (μg kg⁻¹) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

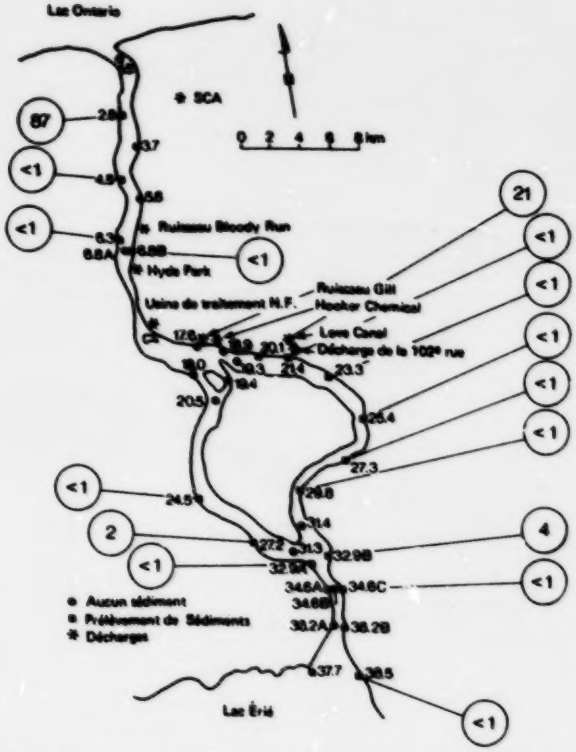


Figure 42. Répartition du γ-BHC (lindane) (μg kg $^{-1}$) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

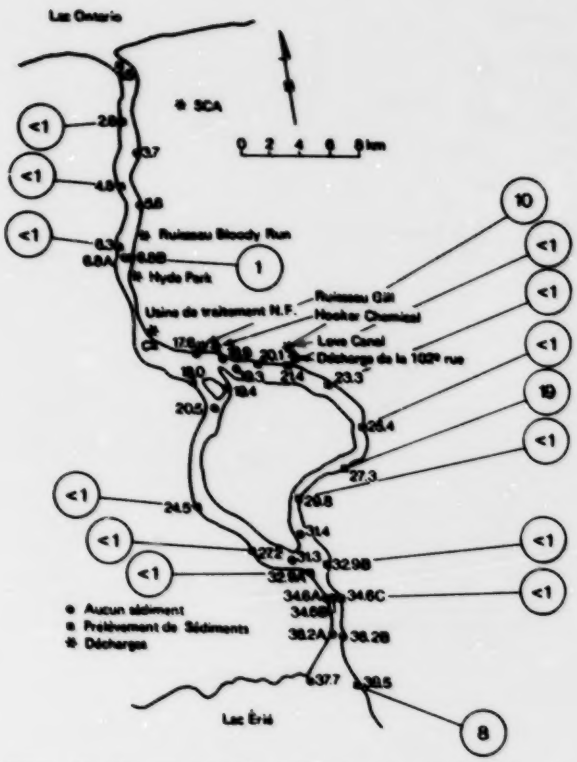


Figure 43. Répartition de l'heptachlore-époxyde (μg kg $^{-1}$) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

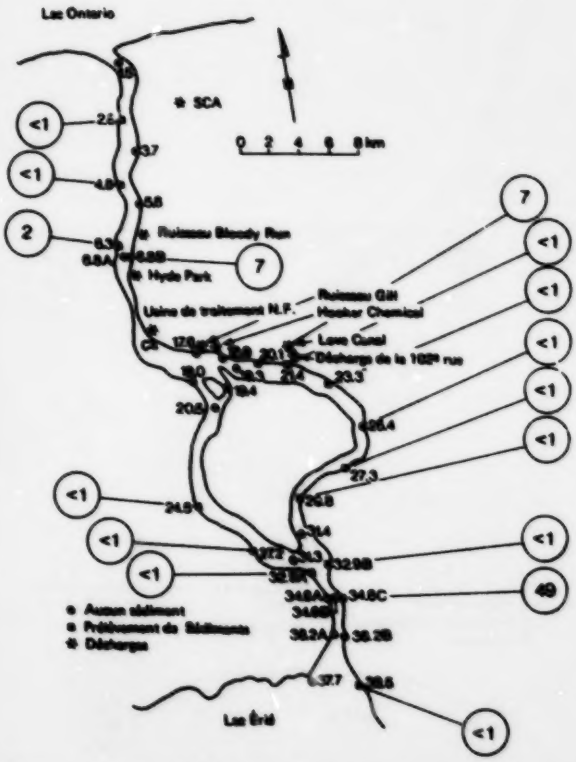


Figure 44. Répartition du α-chlordane (μg kg^{-1}) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

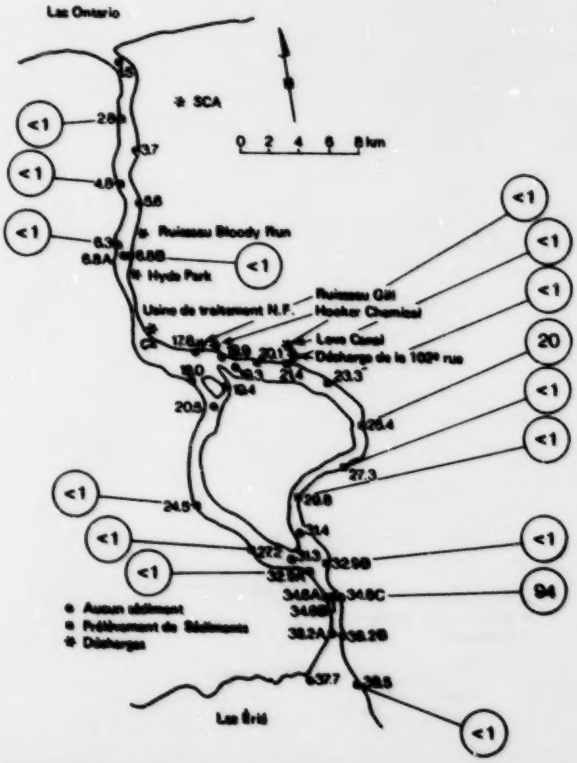


Figure 45. Répartition du γ-chlordane (μg kg^{-1}) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

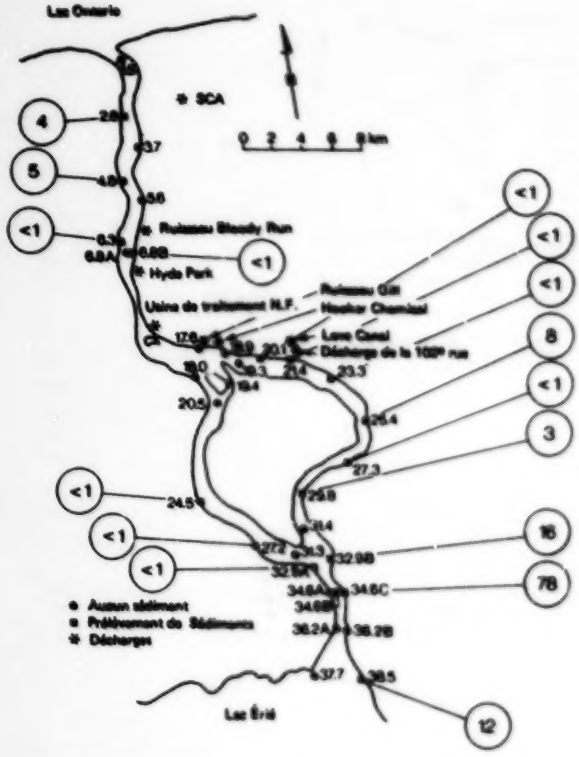


Figure 46. Répartition du α-endosulfan ($\mu g\ kg^{-1}$) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

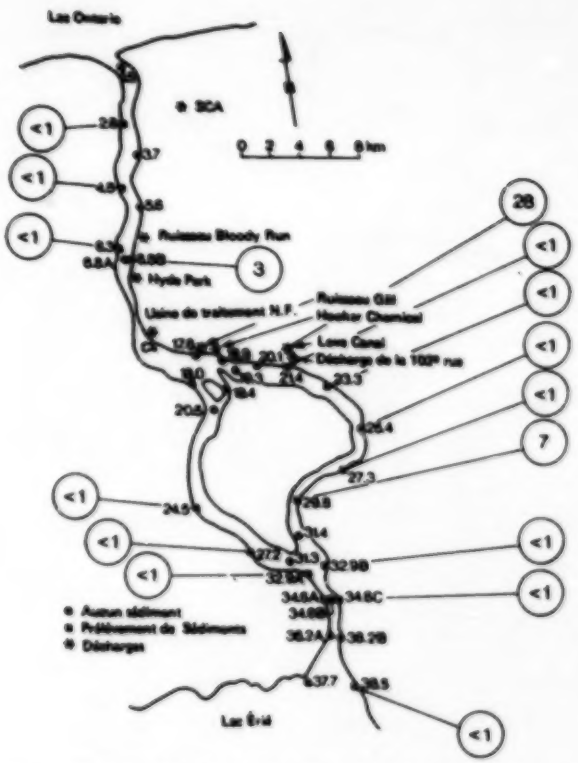


Figure 47. Répartition du β-endosulfan ($\mu g\ kg^{-1}$) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

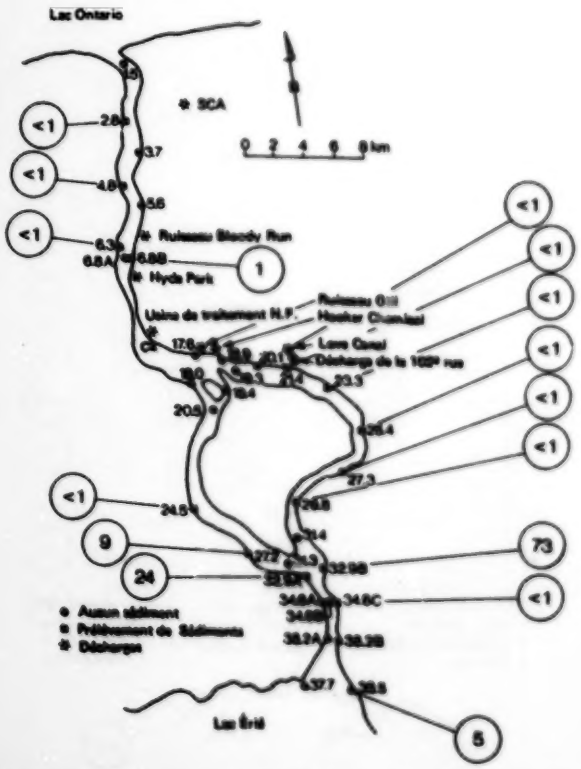


Figure 48. Répartition du p,p'-DDT ($\mu g\ kg^{-1}$) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

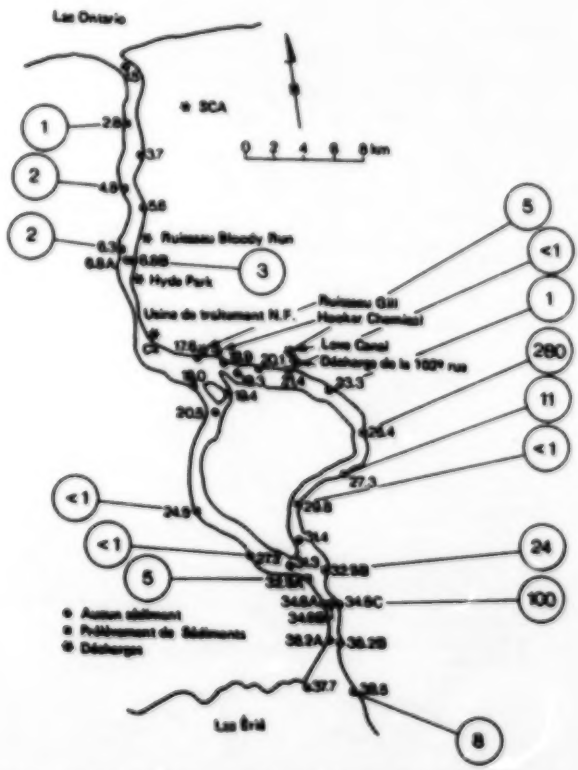


Figure 49. Répartition du p, p'-DDE ($\mu g\ kg^{-1}$) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

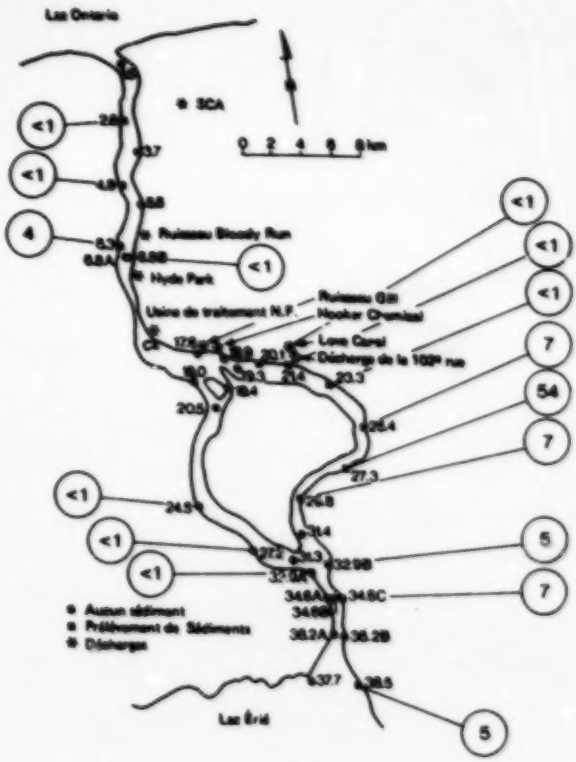


Figure 50. Répartition du p, p'-TDE (μg kg $^{-1}$) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

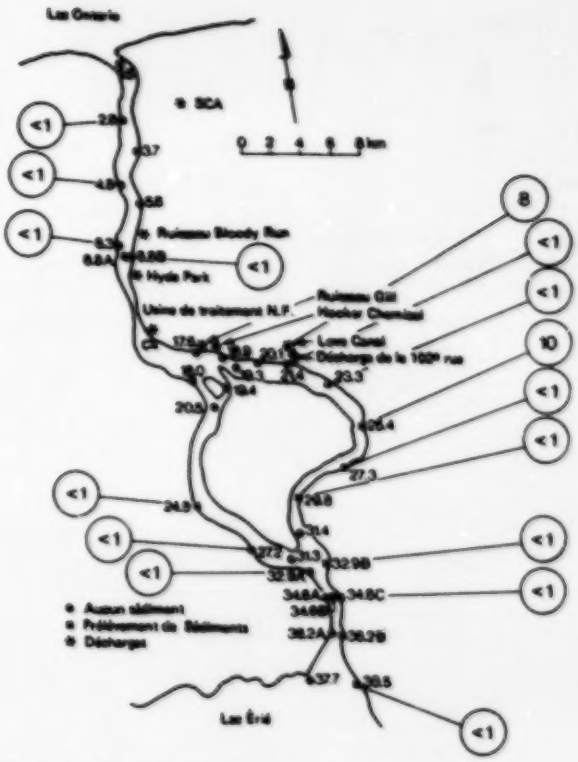


Figure 51. Répartition de la dieldrine (μg kg $^{-1}$) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

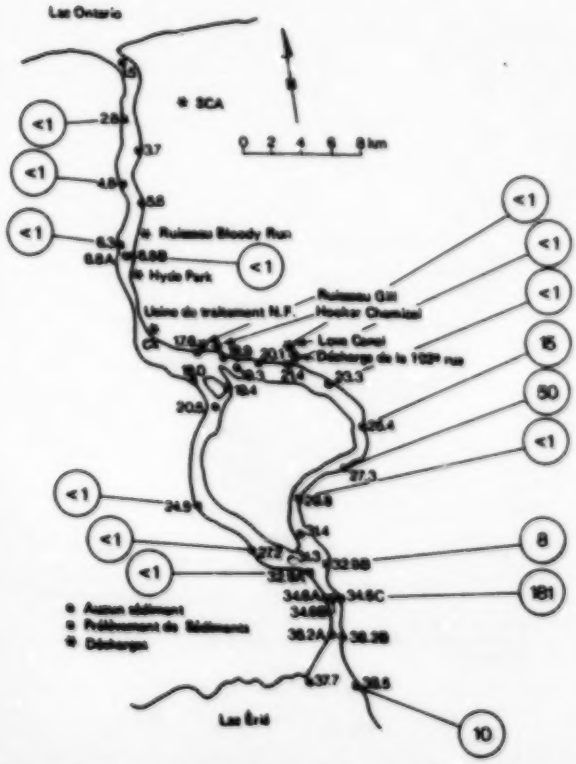


Figure 52. Répartition de l'endrine (μg kg^{-1}) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

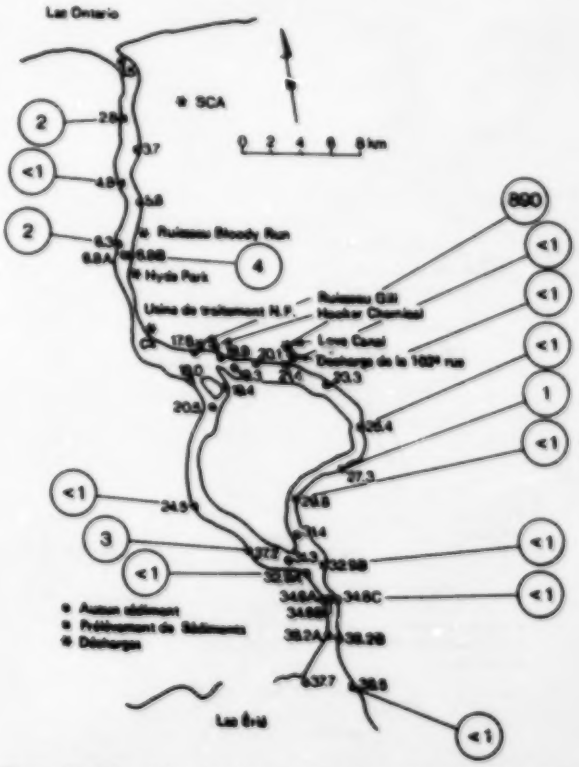


Figure 53. Répartition du mirex (μg kg^{-1}) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

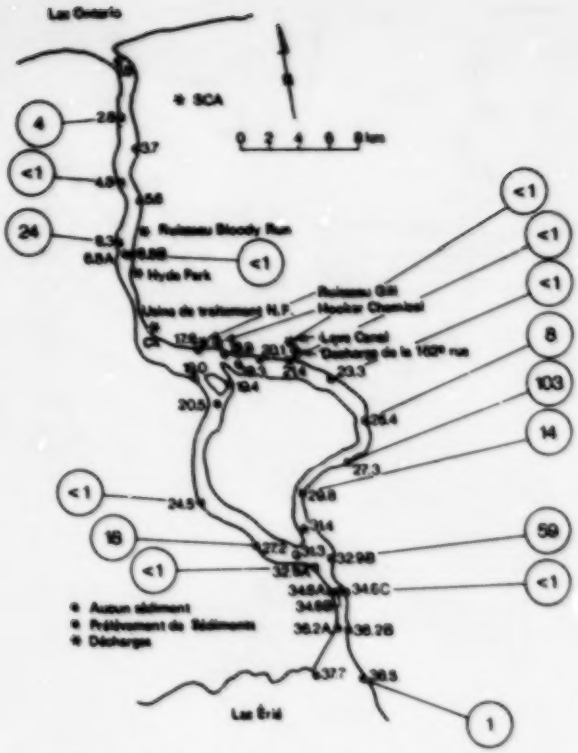


Figure 54. Répartition du méthoxychlore (µg kg $^{-1}$) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

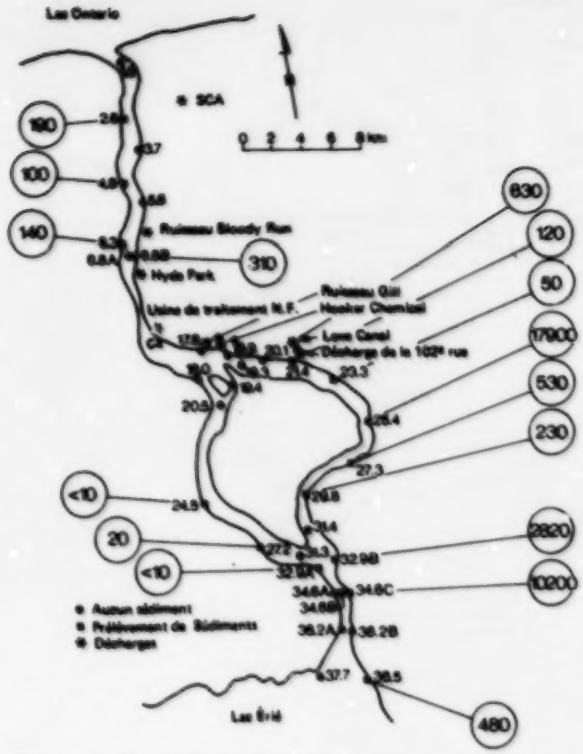


Figure 55. Répartition des BPC totaux (µg kg $^{-1}$) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

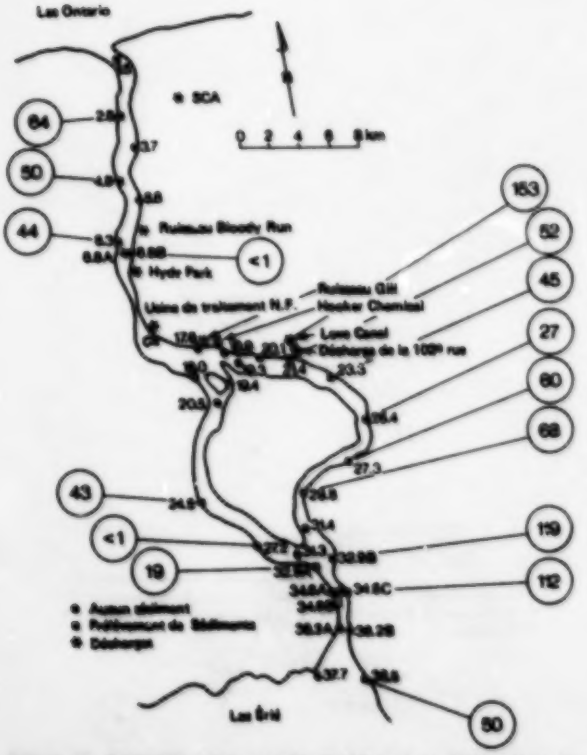


Figure 56. Répartition des dichlorobenzènes (µg kg^{-1}) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

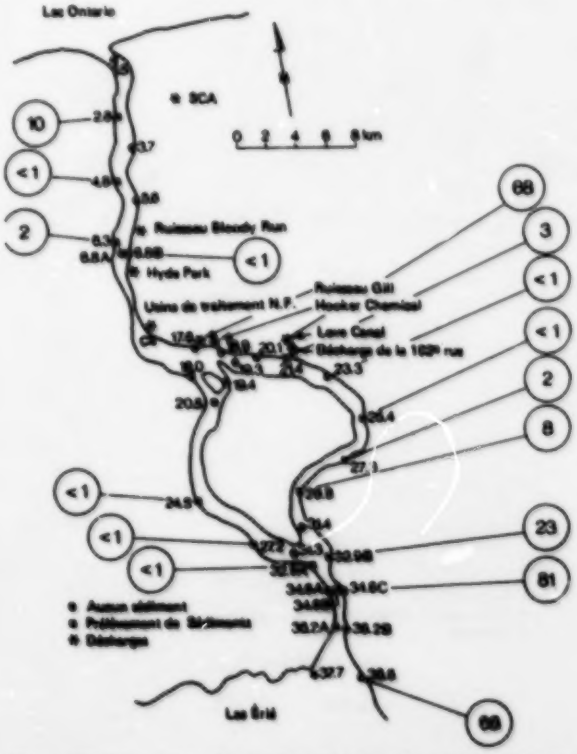


Figure 57. Répartition des trichlorobenzènes (µg kg^{-1}) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

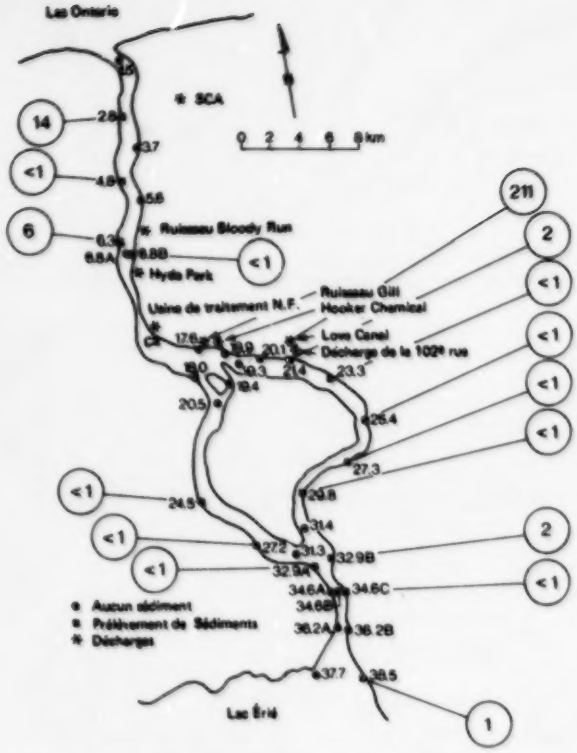


Figure 58. Répartition des tétrachlorobenzènes (μg kg $^{-1}$) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

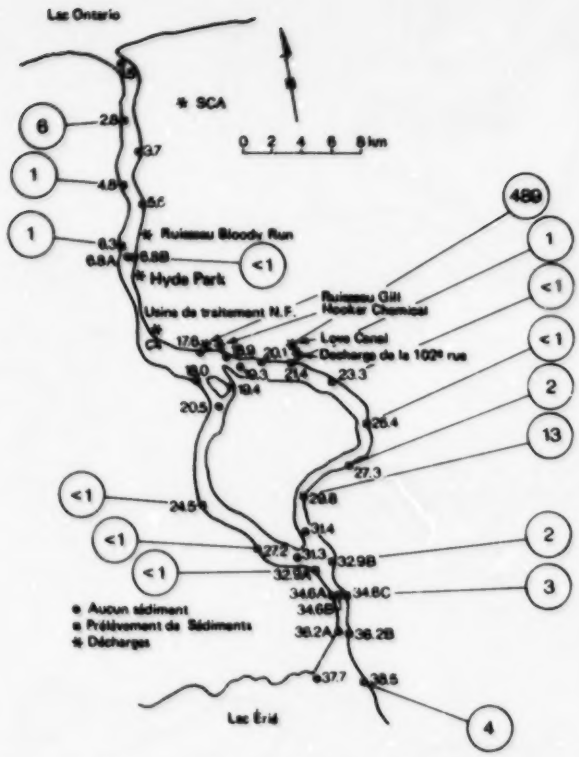


Figure 59. Répartition du pentachlorobenzène (μg kg $^{-1}$) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

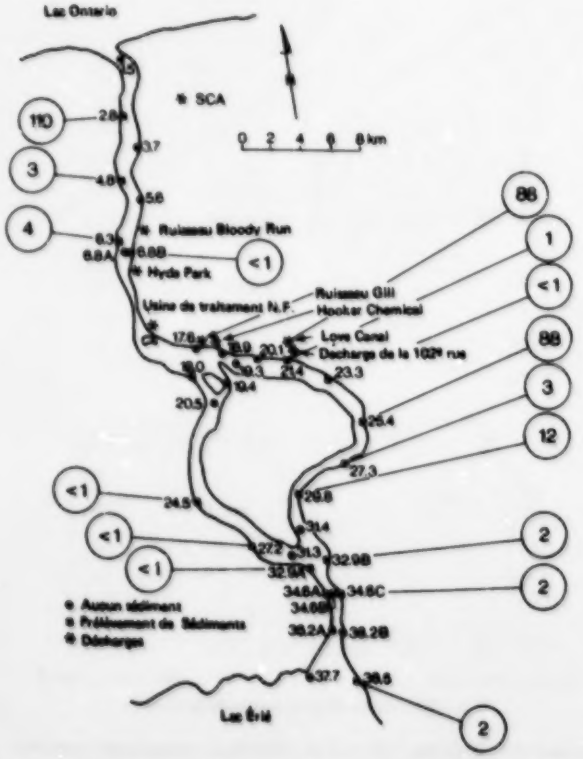


Figure 60. Répartition de l'hexachlorobenzène (μg kg $^{-1}$) dans les sédiments du lit de la rivière Niagara, mai 1981.

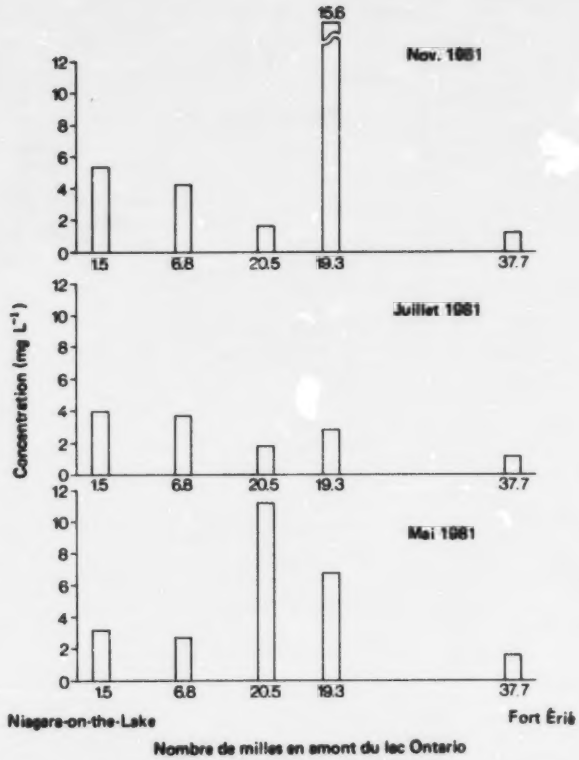


Figure 61. Répartition des sédiments en suspension (mg L $^{-1}$) dans la rivière Niagara, mai 1981.

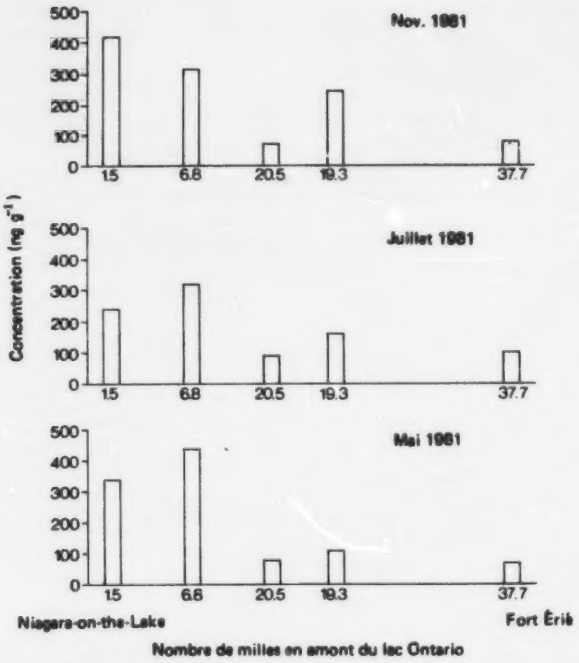


Figure 62. Répartition du mercure total (ng g $^{-1}$) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

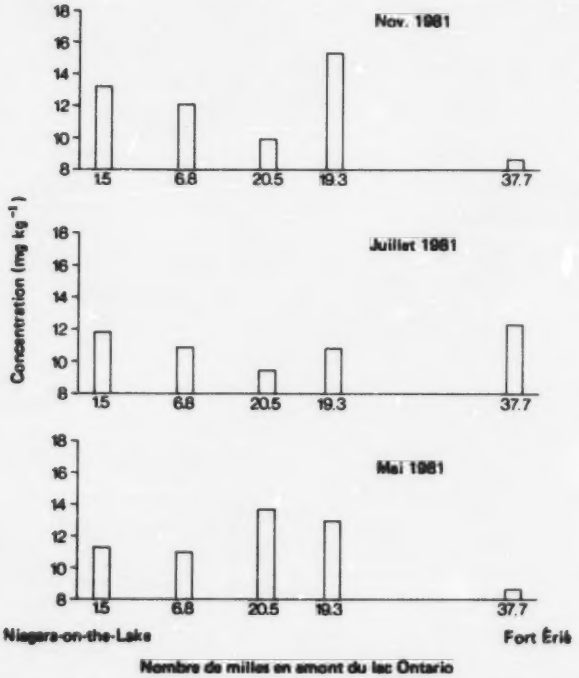


Figure 63. Répartition de l'arsenic total (mg kg $^{-1}$) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

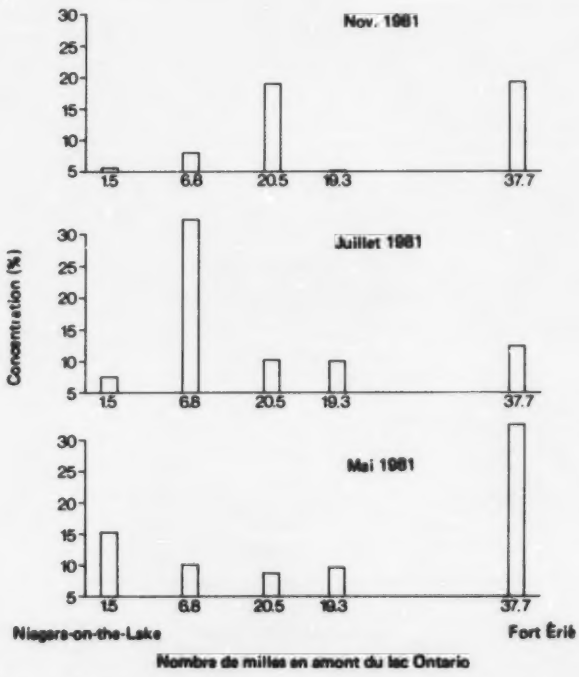


Figure 64. Répartition du carbone organique (pourcentage) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

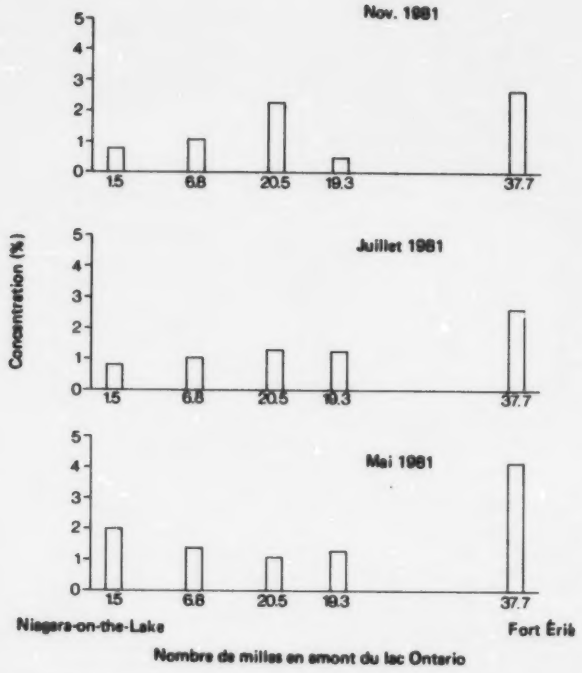


Figure 65. Répartition de l'azote organique (pourcentage) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

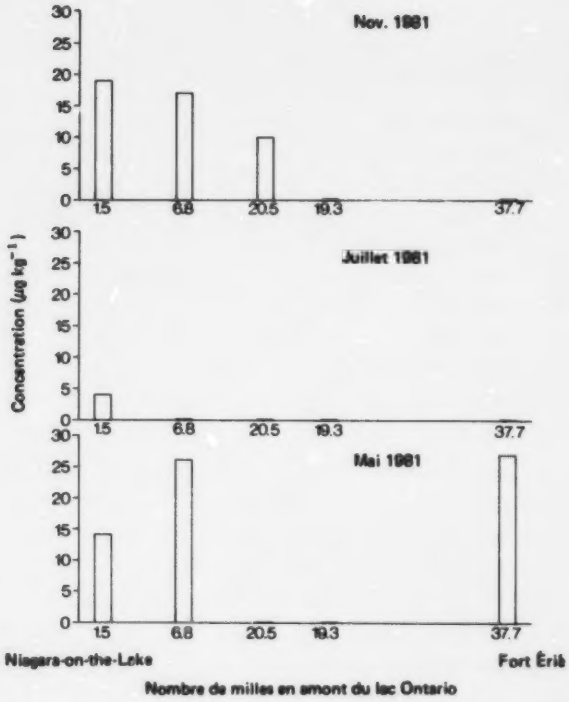


Figure 66. Répartition du α-BHC (µg kg⁻¹) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

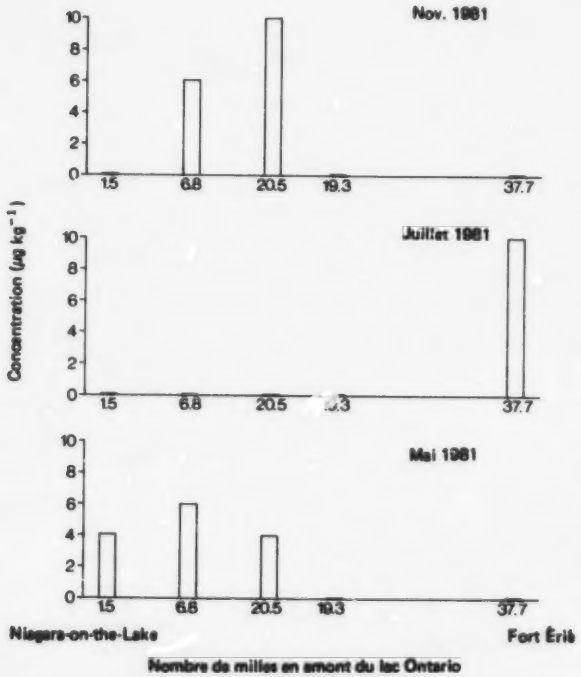


Figure 67. Répartition de l'heptachlore-époxyde (µg kg⁻¹) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

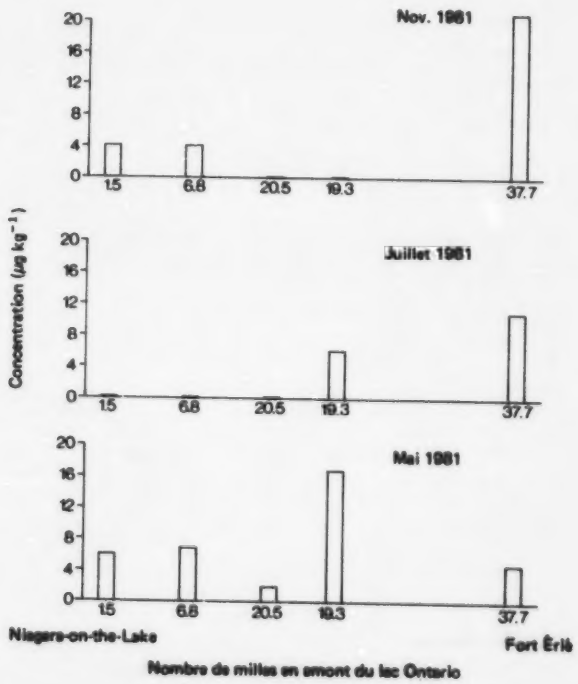


Figure 68. Répartition du α-chlordane (µg kg⁻¹) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

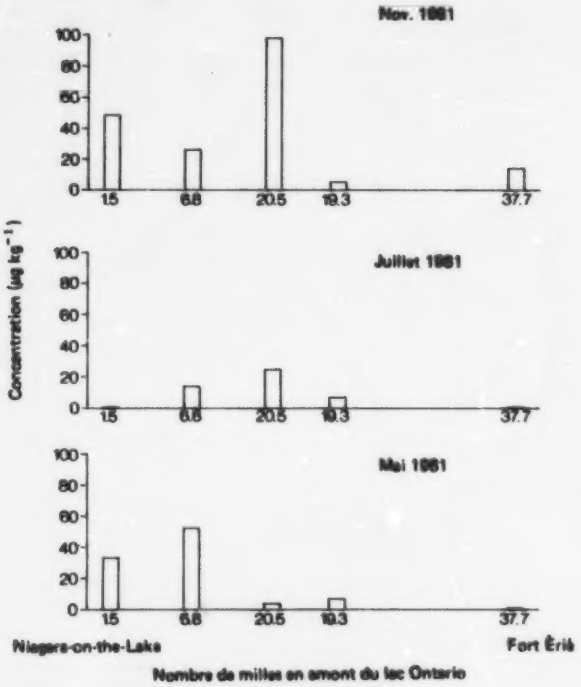


Figure 69. Répartition du α-endosulfan (µg kg⁻¹) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

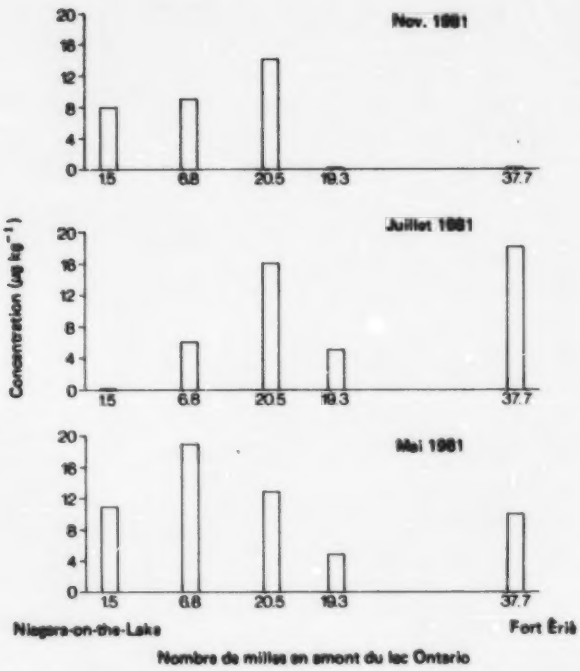


Figure 70. Répartition de la dieldrine (µg kg⁻¹) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

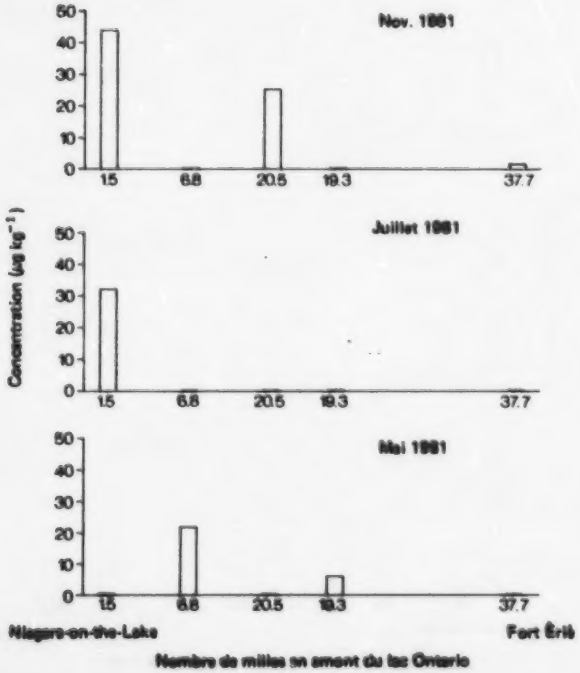


Figure 71. Répartition du p,p'-DDT (µg kg⁻¹) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

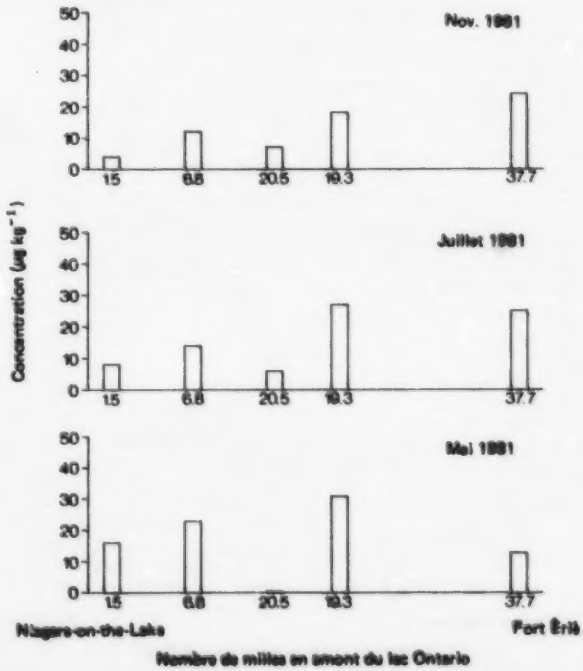


Figure 72. Répartition du p,p'-DDE (µg kg⁻¹) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

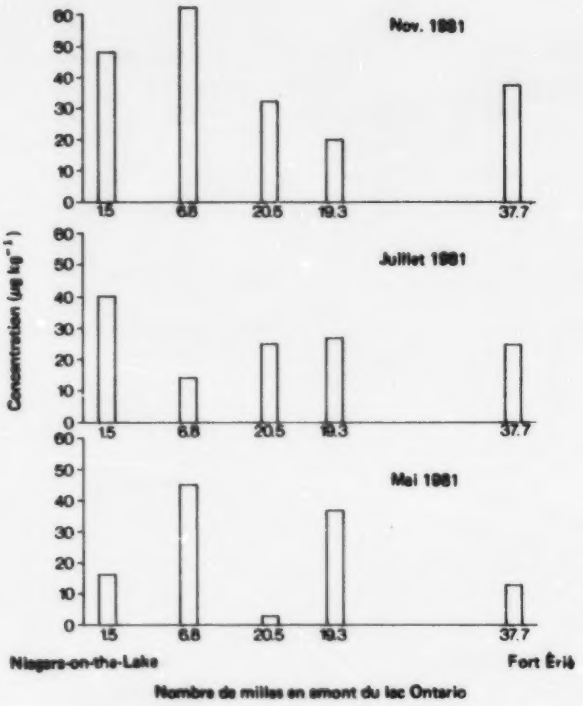


Figure 73. Répartition du DDT total (µg kg⁻¹) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

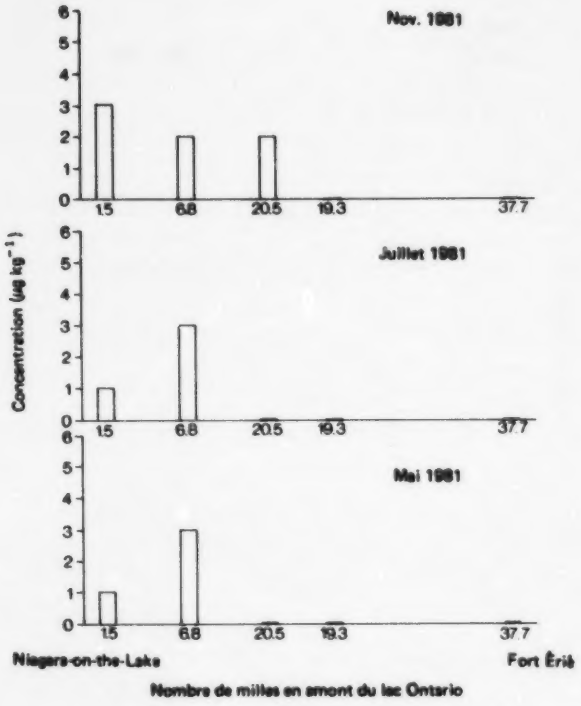


Figure 74. Répartition du mirex (µg kg⁻¹) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

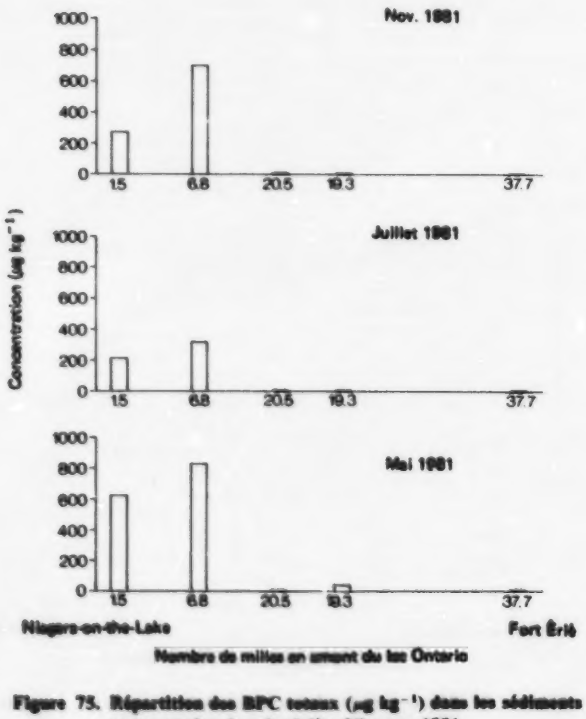


Figure 75. Répartition des BPC totaux (µg kg⁻¹) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

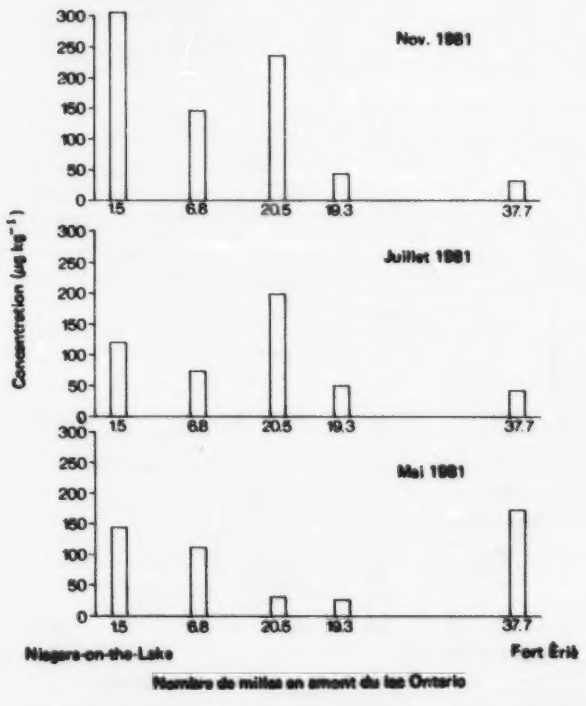


Figure 76. Répartition des dichlorobenzènes (µg kg⁻¹) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

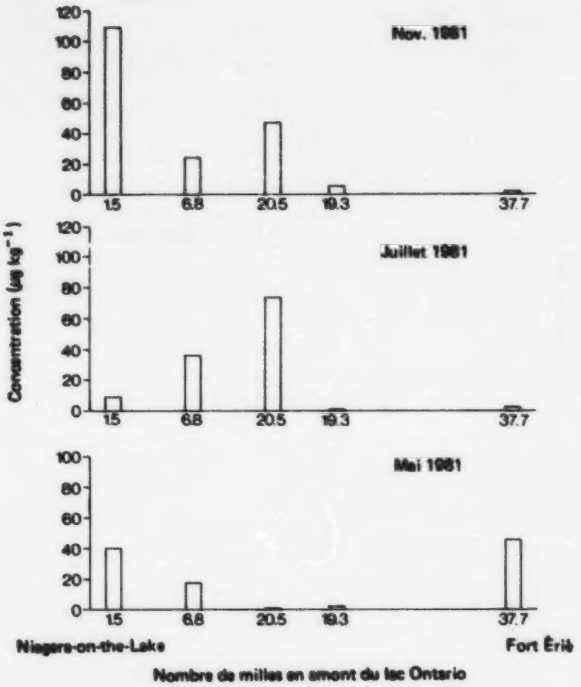


Figure 77. Répartition des trichlorobenzènes (µg kg⁻¹) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

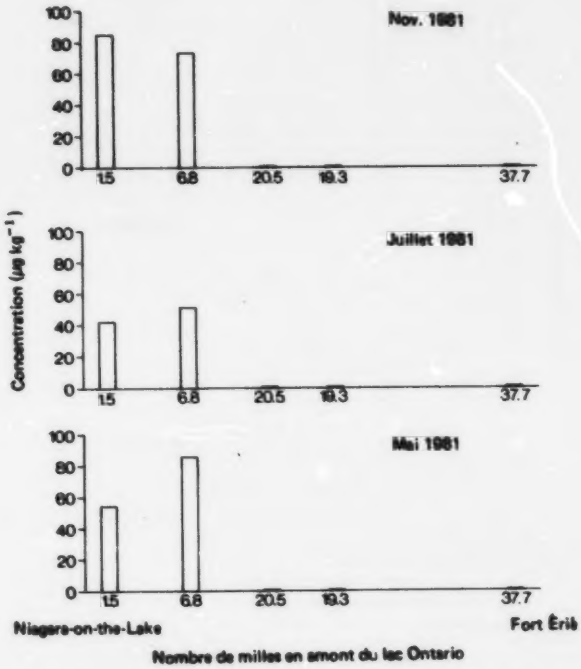


Figure 78. Répartition des tétrachlorobenzènes (µg kg⁻¹) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

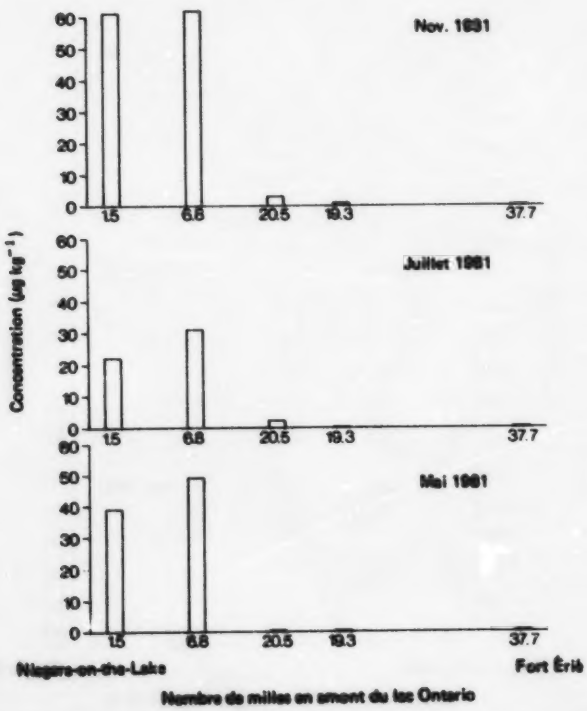


Figure 79. Répartition des pentachlorobenzènes (µg kg⁻¹) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

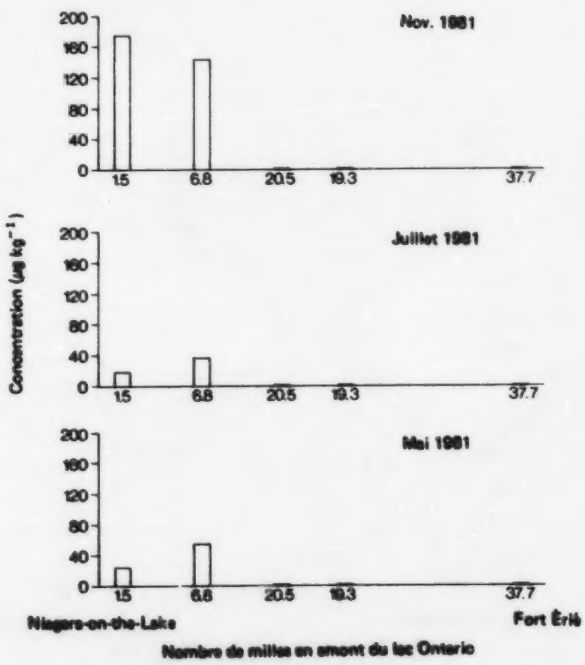


Figure 80. Répartition des hexachlorobenzènes (µg kg⁻¹) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

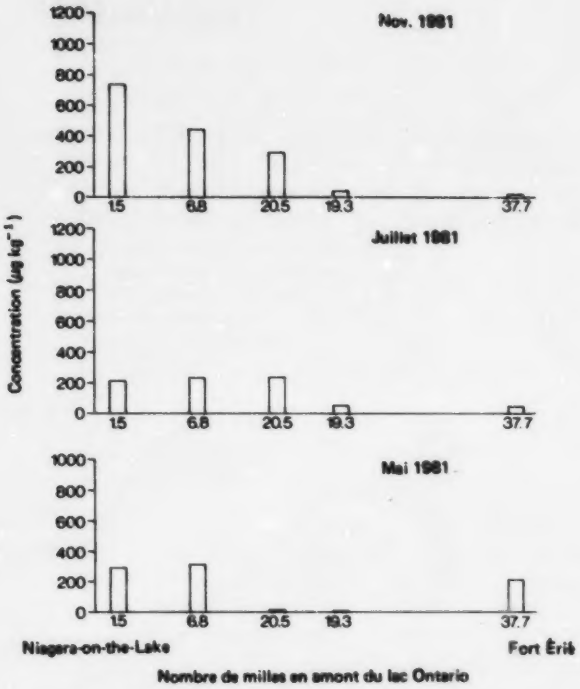


Figure 81. Répartition de l'ensemble des dérivés chlorés du benzène (µg kg⁻¹) dans les sédiments en suspension dans la rivière Niagara, 1981.

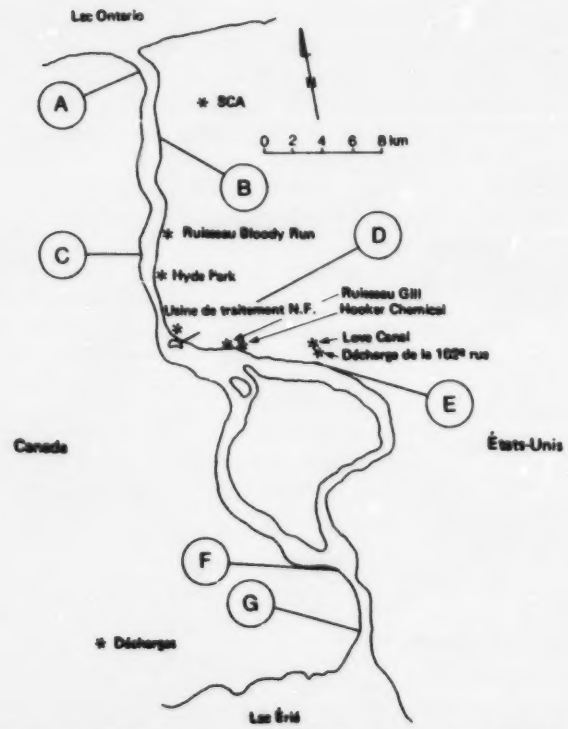


Figure 82. Stations de capture de queues à tache noire dans la rivière Niagara, septembre 1982.

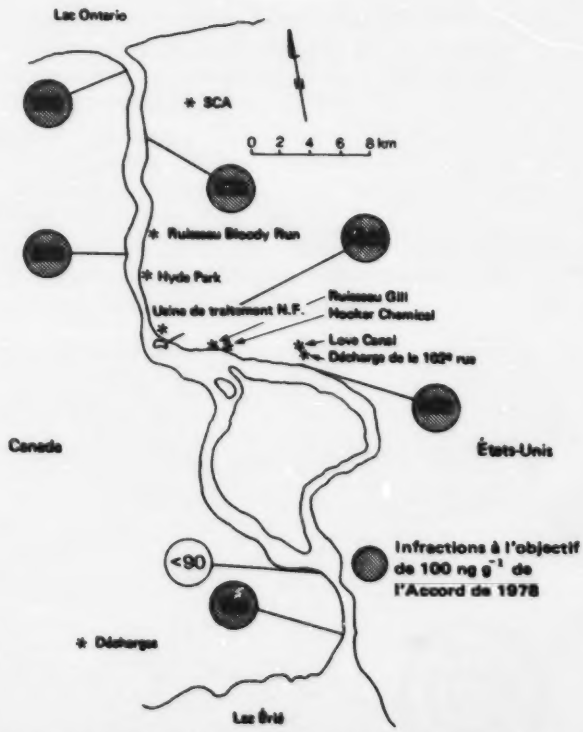


Figure 83. BPC totaux (ng g⁻¹) chez le queue à tache noire de la rivière Niagara, septembre 1982.

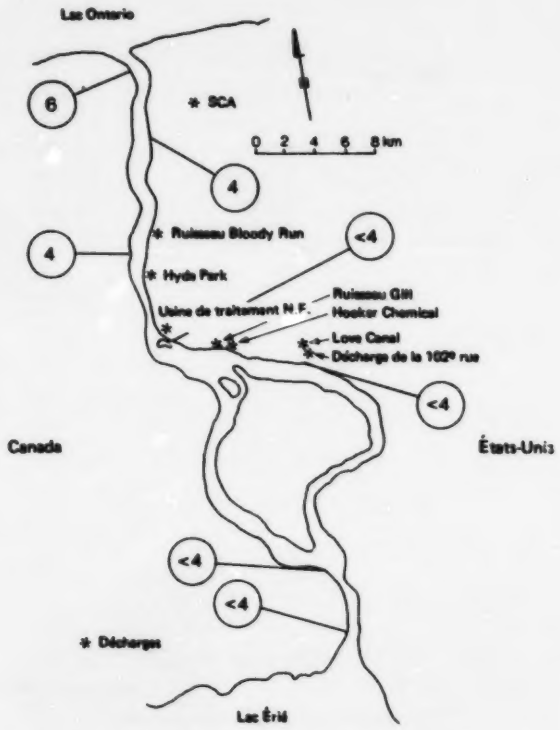


Figure 84. Mirex (ng g^{-1}) chez le queue à tache noire de la rivière Niagara, septembre 1982.

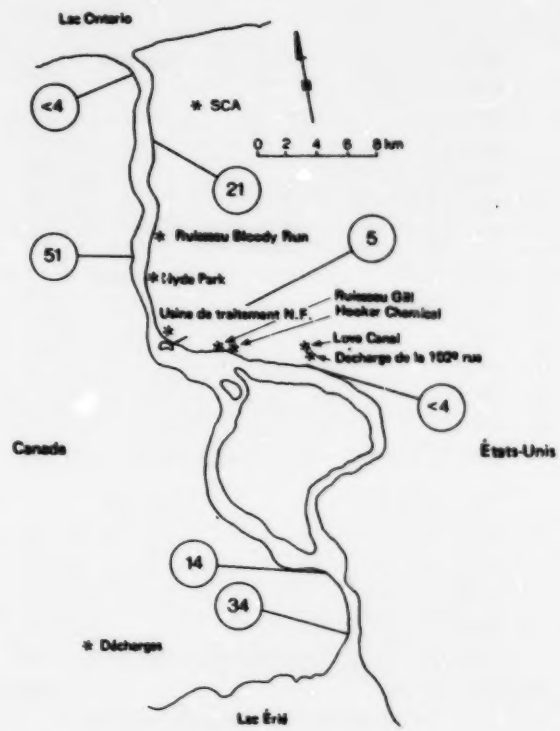


Figure 85. DDT (ng g^{-1}) total chez le queue à tache noire de la rivière Niagara, septembre 1982.

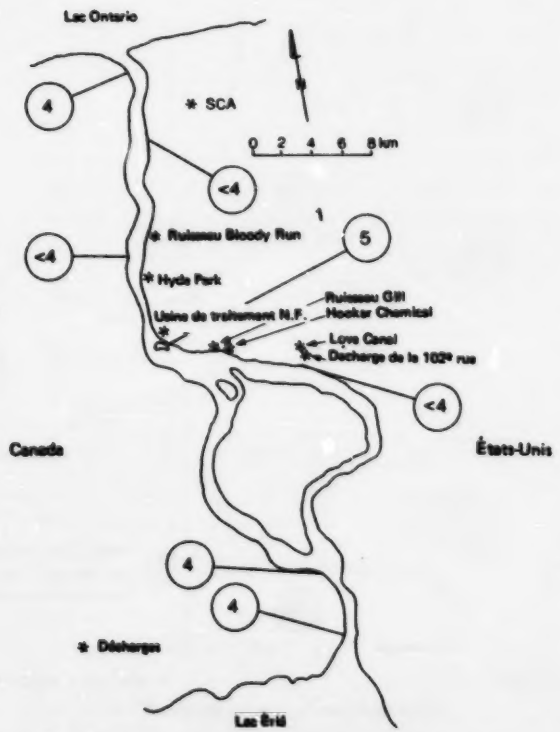


Figure 86. Dieldrine (ng g^{-1}) chez le queue à tache noire de la rivière Niagara, septembre 1982.

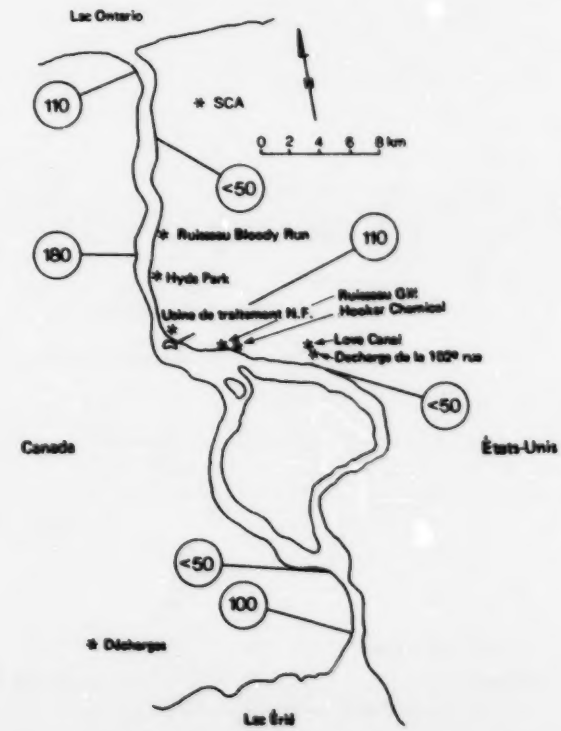


Figure 87. Dichloro-1,4 benzène (ng g^{-1}) chez le queue à tache noire de la rivière Niagara, septembre 1982.

Références

Chan, C.H. 1977. Water Quality Surveys of the Niagara River — 1974. Série des rapports généraux n° 48, Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux (région de l'Ontario), à Burlington (Ontario).

Commission mixte internationale. 1951. Report of the International Joint Commission of the United States and Canada on the Pollution of Boundary Waters: U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

Commission mixte internationale. 1967. Summary Report on Pollution of the Niagara River. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

Commission mixte internationale. 1971. Summary Report on Pollution Abatement Progress in the Niagara River Area. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

Environnement Canada. 1979. Analytical Methods Manual. Direction de la qualité des eaux, Direction générale des eaux intérieures, Ottawa.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 1979. Water Related Environmental Fate of 129 Priority Pollutants, Vol. I et II.

Frank, R., R.L. Thomas, M. Holdrinet, A.L.W. Kemp et H.E. Braun. 1979. Organochlorine insecticides and PCB in surficial sediments (1968) and sediment cores (1976) from Lake Ontario. J. Great Lakes Res. 5(1): 18–27.

Frank, R., R.L. Thomas, M. Holdrinet, R.K. McMillan, H.E. Braun et R. Dawson. 1981. Organochlorine residues in suspended solids collected from the mouths of Canadian streams flowing into the Great Lakes, 1974–1977. J. Great Lakes Res. 7(4): 363–381.

Hallet, D.J. et R.J. Norstrom. 1977. Mirex, chlordane, dieldrin, DDT and PCBs: Metabolites and photoisomers in Lake Ontario herring gulls. *In* Fate of Pesticides in Large Animals, Academic Press, N.Y.

Interagency Task Force on Hazardous Wastes. March 1979. Draft Report on hazardous waste disposal in Erie and Niagara counties, New York.

Kaiser, K.L.E. 1974. Mirex, an unrecognized contaminant of fishes from Lake Ontario. Science, 185: 523–525.

Kuntz, K.W. et C.H. Chan. 1982. Water quality of the upper Niagara River, 1975 and 1979. Série scientifique n° 129. Direction générale des eaux intérieures (région de l'Ontario), à Burlington (Ontario).

Kuntz, K.W. et N.D. Warry. 1983. Chlorinated organic contaminants in water and suspended sediments of the lower Niagara River. J. Great Lakes Res. (Sous presse).

McCrea, R.C. 1982. Development of an aqueous Phase Liquid-Liquid Extractor (APLE). Rapport provisoire. Direction générale des eaux intérieures (région de l'Ontario), à Burlington (Ontario).

Oliver, B.G. et K.D. Nicol. 1982. Chlorobenzenes in sediments, water and selected fish from Lakes Superior, Huron, Erie and Ontario. Environ. Sci. Technol. 16(8): 532–536.

Suns, K. et G.A. Rees. 1978. Organochlorine contaminant residues in young-of-the-year spottail shiners from Lakes Ontario, Erie and St. Clair. J. Great Lakes Res. 4(2): 230–233.

Warry, N.D. et C.H. Chan. 1981. Organic contaminants in the suspended sediments of the Niagara River. J. Great Lakes Res. 7(4): 394–403.